

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA

Embalagens Flexíveis: estudo do processo de reticulação de adesivos e do coeficiente de atrito

Vânia Sofia Ferrás Luís

Julho de 2013

Orientador do ISEP: Professor Doutor António Alfredo Crispim Ribeiro

Orientadores da empresa: Engenheiro Luís Silva e Engenheira Maria José Valério

Embalagens Flexíveis: estudo do processo de reticulação dos adesivos e do coeficiente de atrito

Mestrado em Engenharia Química

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Doutor Alfredo Crispim pela orientação nesta dissertação, disponibilidade e incentivo no decorrer do trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Luís Silva e à Engenheira Maria José Valério pela orientação na empresa e pelos conhecimentos que me transmitiram.

Agradeço também à Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, principalmente ao Engenheiro José Barros por ter permitido que eu realizasse a minha dissertação na empresa.

Agradeço às pessoas que trabalham no laboratório, nomeadamente, à Teresa Bessa, Vasco Almeida, Ricardo Vieira, Jorge Lopes, Nuno Cunha e Nuno Rua pela forma como me receberam e por toda a ajuda que me deram no decorrer do trabalho. Quero também agradecer à Doutora Rita Reis por também me ter ajudado e esclarecido algumas dúvidas e ao Diogo Matos que também realizou na empresa a sua dissertação e foi um companheiro nesta “aventura”.

Também não posso deixar de agradecer aos restantes profissionais da empresa que me receberam muito bem e tentaram sempre integrar-me.

Agradeço ao ISEP por me ter cedido algum material para poder realizar ensaios no espectrofotómetro da empresa.

Agradeço aos meus amigos que me incentivaram sempre e não me deixaram desanimar.

Agradeço também à minha mãe e à minha irmã que foram, são e sempre serão o meu suporte e principal apoio, nunca me deixaram desanimar e tiveram muita paciência. Também agradeço aos restantes elementos da minha família pelo incentivo.

Por último, e porque os últimos são sempre os primeiros, agradeço ao meu pai que já partiu mas eu sei que está sempre a olhar por mim, esteja onde estiver.

Resumo

A dissertação foi realizada em ambiente industrial, mais precisamente na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.. Esta empresa dedica-se à impressão e laminagem de filmes, assim como à confecção de sacos. Os seus produtos são direcionados na sua maioria para a indústria alimentar, exportando mais de 50% da sua produção, e dizem respeito a complexos (dois ou mais filmes unidos pela presença de um adesivo) que podem possuir impressão ou não. Estes complexos podem ser enviados para o cliente em bobina ou já em saco.

Os objetivos propostos pela empresa diziam respeito a estudos relacionados com a força de laminagem dos complexos, com o coeficiente de atrito dos mesmos e com a identificação dos espectros dos componentes dos adesivos, assim como o estudo do processo de reticulação dos mesmos por espectrofotometria de Infravermelho.

Relativamente aos resultados obtidos verificou-se que tanto a tinta como os metalizados influenciam negativamente a força de laminagem. Por sua vez o coeficiente de atrito é afetado por vários fatores. Através dos ensaios experimentais verificou-se que o adesivo, a tinta e o verniz mate favorecem o aumento do valor do COF. Além disso, nos complexos em que se utilizaram filmes de polietileno de maior espessura obtiveram-se valores de COF mais baixos, e no que diz respeito à temperatura e à tensão de enrolamento, verificou-se que valores mais elevados e muito baixos da primeira traduzem-se num aumento do valor do COF e uma tensão de enrolamento maior também tem o mesmo efeito. Relativamente ao tipo de filme impresso, substratos com maior energia superficial atraem mais o agente de deslizamento (*slip*). Por último, não se conseguiu perceber qual o tipo de adesivo (com ou sem solvente) que tem maior impacto no COF uma vez que em 55% dos casos o valor do COF é superior nas amostras que foram complexadas com adesivo sem solvente e em 45% o COF era superior nas amostras complexadas com adesivo base solvente.

No que diz respeito aos espectros obtidos verificou-se que a reticulação dos adesivos é identificada pela diminuição da extensão do pico correspondente à ligação $N=C=O$.

Palavras-chave: embalagens flexíveis, adesivos, laminagem, coeficiente de atrito.

Abstract

The dissertation was carried out in an industrial environment, specifically the company Monteiro, Ribas - Flexible Packaging SA. This company is dedicated to printing and laminating films as well as the confection bags. Its products are targeted mostly for the food industry, exporting over 50% of its production, and involve complexes (two or more films together by the presence of an adhesive) that have printing or not. These complexes can be sent to the customer in coil or already in bag.

The objectives proposed by the company concerned studies of the lamination strength on the complexes, the coefficient of friction of them and the identification of the spectra of the components of the adhesives as well as the study of the crosslinking process thereof.

In what concerning the results they show that the ink and metallic coat harm the lamination of the complexes. In turn, the coefficient of friction is affected by different factors. Through of the experimental tests it was found that the adhesive, ink and the matt varnish increase the COF. In addition, a thicker polyethylene layer results in a lower COF and as what concern temperature, higher or very lower values increase the coefficient of friction. The winding tension increases de COF also. It was shown that for the type of the printed films, substrates with higher surface tension attract more slip. Finally, it was not possible to know what adhesive (with or without solvent) has a higher impact on the COF once in 55% of cases the coefficient of friction is higher in samples that were laminating with adhesive without solvent and 45% the COF was higher in samples laminating with adhesives with solvent.

The obtained spectra have shown that the crosslinking of the adhesives is identified by reduction of the length of the peak corresponding to the bond $N=C=O$.

Keywords: flexible packaging, adhesives, lamination, coefficient of friction

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Monteiro, Ribas	1
1.2.1. Unidades de Negócio e Empresas Associadas	2
1.3. Monteiro Ribas - Embalagens Flexíveis	3
1.3.1. Breve história	3
1.3.2. Qualidade.....	3
1.3.3. Tecnologias e Produtos.....	3
1.3.4. Mercado	4
1.3.5. Constituição da Unidade de Embalagens Flexíveis	4
1.3.6. Fluxograma Geral de Fabrico.....	5
1.3.7. Materiais usados	6
1.3.7.1. Filmes metalizados	6
1.3.7.2. Filmes bi-orientados e mono-orientados	6
1.3.7.3. Propriedades dos materiais.....	7
1.3.8. Controlo de Qualidade	8
2. Estado da Arte	11
2.1. Embalagens flexíveis	11
2.1.1. Propriedades barreira.....	11
2.1.2. Migração	12
2.2. Complexagem	12
2.2.1. Adesivos	12
2.2.1.1. Seleção de adesivos	13
2.2.1.2. Tratamentos superficiais	14
2.2.1.3. Classificação dos adesivos	17
2.2.1.4. Adesivos de poliuretano	18
2.2.1.5. Problemas associados à complexagem	20
2.2.2. Efeito da temperatura na complexagem	21
2.2.3. Princípio de funcionamento das máquinas de complexagem	22
2.2.3.1. Máquina C2 e C5	22
2.2.3.2. Máquina C3 e C4	23
2.3. Coeficiente de atrito (COF).....	25
2.3.1. Amidas	26
3. Descrição Experimental	29
3.1. Ensaio realizados no Dinamómetro	29
3.1.1. ASTM 1876 – Determinação da resistência à Deslaminagem	29
3.1.1.1. Procedimento experimental.....	29
3.1.2. ASTM D1894 – Ensaio de Coeficiente de atrito.....	31
3.1.2.1. Procedimento experimental.....	31
3.2. Ensaio realizados no Espectrofotómetro de Infravermelho (IV)	32
3.2.1. Identificação dos componentes dos adesivos por IV	32
3.2.1.1. Procedimento experimental.....	33
3.2.2. Identificação da influência do aditivo (componente OH) nos espectros da mistura do adesivo.....	33
3.2.2.1. Procedimento experimental.....	34
4. Resultados e discussão	35
4.1. Estudo da reticulação dos adesivos após a complexagem.....	35
4.1.1. Estudo da influência da tinta na força de laminagem.....	37
4.1.2. Estudo da influência do metalizado na força de laminagem	39

4.2.	Impacto da complexagem no COF do produto acabado.....	41
4.2.1.	Influência das tintas no Coeficiente de Atrito	45
4.2.2.	Influência do verniz mate no Coeficiente de Atrito	47
4.2.3.	Influência da espessura do PE no Coeficiente de Atrito	49
4.2.4.	Influência do tipo de filme impresso no coeficiente de atrito	50
4.3.	Impacto do tipo de Complexadora (com ou sem solvente) no COF final	51
4.4.	Influência da temperatura e da tensão de enrolamento no COF	53
4.5.	Identificação dos espectros dos componentes dos adesivos	57
4.5.1.	Adesivo sem solvente	57
4.5.2.	Adesivo com solvente	61
4.5.3.	Estudo da variação dos espectros das misturas dos adesivos de acordo com a quantidade de aditivo (componente OH).....	65
5.	Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros	69
	Bibliografia	71
	Anexos	73
	Anexo A - Exemplos de ensaios.....	75
	Anexo B. Fichas técnicas dos adesivos.....	77
	B.1. Ficha técnica da cola sem solvente.....	77
	B.2. Ficha técnica da cola com solvente.....	79

Índice de Figuras

Figura 1.1. Símbolo da Monteiro Ribas	1
Figura 1.2. Símbolo da empresa Monteiro Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A.	3
Figura 1.3. Gráfico representativo da parte correspondente às exportações e a Portugal	4
Figura 1.4. Fluxograma Geral de Fabrico	5
Figura 2.1. Desenho representativo das forças de adesão e coesão entre o substrato e o adesivo	13
Figura 2.2. Diferença entre uma superfície com baixa energia superficial e outra com alta energia superficial	15
Figura 2.3. Representação esquemática das variáveis	16
Figura 2.4. Espalhamento de tintas (ink) de impressão em superfícies tratadas (treated) e não tratadas (untreated)	17
Figura 2.5. Esquema que sintetiza os vários tipos de classificações de adesivos	18
Figura 2.6. Reação entre um isocianato com um poliálcool para a obtenção do grupo uretano	19
Figura 2.7. Estruturas de ressonância do grupo isocianato	19
Figura 2.8. Reação do isocianato com a água	19
Figura 2.9. Túnel de laminados flexíveis	20
Figura 2.10. Evolução da migração do <i>slip</i> para a superfície do filme provocando a deslaminagem	20
Figura 2.11. Representação das falhas de adesão e de coesão	21
Figura 2.12. Princípio de funcionamento da máquina C2	23
Figura 2.13. Representação do processo de laminação na máquina C3	24
Figura 2.14. Gráfico característico de um ensaio de COF	25
Figura 2.15. Comportamento dos diferentes tipos de <i>slips</i> ao longo do tempo	27
Figura 2.18. Variação do COF em função do tempo após a extrusão de um polímero .	28
Figura 3.1. Dinamómetro de <i>Hounsfield</i> com as garras e a célula de 500N montadas ...	30
Figura 3.2. Exemplo das dimensões de uma amostra para realização do ensaio para determinação da resistência à Deslaminagem	30
Figura 3.3. Dinamómetro de <i>Hounsfield</i> com a célula de 10N montada assim como a placa metálica e o bloco metálico	32
Figura 3.4. Espectrofotómetro FT-IR SPECTRUM BX	33
Figura 4.1. Variação da força de laminação em função do tempo para diferentes complexos laminados com cola “EVOH”	36
Figura 4.2. Variação da força de laminação em função do tempo para as zonas sem	

tinta e com tinta da amostra	38
Figura 4.3. Representação de um triplex: a) Antes da deslaminagem do metalizado; b) Após a deslaminagem do metalizado	41
Figura 4.4. Valores mínimos e máximos de Coeficiente de Atrito obtidos experimentalmente para cada tipo de material	43
Figura 4.5. Representação estatística do impacto da complexagem no coeficiente de atrito	44
Figura 4.6. Variação do valor do COF ao longo do tempo	45
Figura 4.7. Complexo composto por dois substratos, tinta de impressão e adesivo	47
Figura 4.8. Variação do COF em função do aumento da espessura do filme	50
Figura 4.9. Representação estatística do impacto do tipo de adesivo no coeficiente de atrito	53
Figura 4.10. Espectro do componente OH do adesivo sem solvente	57
Figura 4.11. Espectro do componente NCO do adesivo sem solvente	58
Figura 4.12. Espectro do adesivo sem solvente e do filme de OPP	59
Figura 4.13. Espectro do adesivo sem solvente e do filme de OPP (Dia 10)	60
Figura 4.14. Evolução dos espectros do adesivo sem solvente ao longo do tempo	61
Figura 4.15. Espectro do componente OH do adesivo com solvente	62
Figura 4.16. Espectro do componente NCO do adesivo com solvente	63
Figura 4.17. Espectro do adesivo com solvente dia 1 (NC270A+CA12+solvente)	63
Figura 4.18. Espectro do adesivo com solvente dia 4 (NC270A+CA12+solvente)	64
Figura 4.19. Evolução dos espectros do adesivo com solvente ao longo do tempo	65
Figura 4.20. Espectros da mistura do adesivo sem solvente para diferentes quantidades de aditivo	66
Figura 4.21. Espectros da mistura do adesivo com solvente para diferentes quantidades de aditivo	67
Figura A.1. Exemplo de um ensaio de resistência à deslaminagem	75
Figura A.2. Exemplo de um ensaio de Coeficiente de Atrito	76

Índice de Tabelas

Tabela 1.1. Principais características de alguns materiais usados em embalagens flexíveis	7
Tabela 2.1. Fatores que afetam a seleção de adesivos em embalagens flexíveis	14
Tabela 2.2. Valor da tensão superficial para alguns substratos usados em embalagens flexíveis	15
Tabela 2.3. Vantagens e desvantagens da utilização de adesivos com e sem solvente	22
Tabela 2.4. Fórmula química e ponto de fusão dos <i>slips</i> do tipo erucamida e oleamida	26
Tabela 4.1. Tempo de reticulação das estruturas complexadas com cola “EVOH”	35
Tabela 4.2. Comparação das forças de laminagem nas zonas com e sem tinta para cada tipo complexo	38
Tabela 4.3. Valor mínimo e máximo de força de laminagem obtidos para cada tipo de estrutura com metalizado	40
Tabela 4.4. Categorias do coeficiente de atrito e deslizamento	42
Tabela 4.5. Valores de coeficiente de atrito cinético antes e depois de laminar	43
Tabela 4.6. Valores de COF cinético para as zonas sem e com tinta de acordo com o tipo de estrutura	46
Tabela 4.7. Influência do verniz no coeficiente de atrito	48
Tabela 4.8. Variação do coeficiente de atrito de acordo com a espessura	49
Tabela 4.9. Valores de COF obtidos para cada tipo de filme impresso	51
Tabela 4.10. Impacto do tipo de adesivo (com e sem solvente) no valor do COF de acordo com o tipo de estrutura	52
Tabela 4.11. Características do material das bobines usadas	54
Tabela 4.12. Influência da temperatura no Coeficiente de Atrito cinético	54
Tabela 4.13. Influência da temperatura nas zonas com tinta e sem tinta	54
Tabela 4.14. Características do material das bobinas usadas	55
Tabela 4.15. Coeficiente de atrito estático para as diferentes temperaturas	55
Tabela 4.16. Influência da tensão de enrolamento no coeficiente de atrito para a temperatura de 23°C	56
Tabela 4.17. Influência da tensão de enrolamento no coeficiente de atrito para a temperatura de 80°C	56

Lista de Abreviaturas

8IC	Máquina de 8 cores com impressão e complexagem
AL	Alumínio
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais
BR	Branco
C2	Complexadora que usa cola com solvente
C3	Complexadora que usa cola sem solvente
C4	Complexadora que usa cola sem solvente
C5	Complexadora que usa cola com solvente
COF	Coeficiente de atrito
CPA	Poliamida mono-orientado ou <i>cast</i>
CPP	Polipropileno mono-orientado ou <i>cast</i>
CTB	Componentes Técnicos de Borracha
D	Densidade ótica
EDP	Eletricidade De Portugal
EVOH	Copolímero etileno – álcool vinílico
HMDI	Hexametileno diisocianato
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MDI	Difenilmentano diisocianato
OPA	Poliamida bi-orientada
OPP	Polipropileno bi-orientado
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PET	Polietileno Tereftalato ou Poliéster
PP	Polipropileno
PVDC	Policloreto de vinilideno
Q	Químico
RSU	Unidade de Recuperação de Solventes
T	Temperatura
TDI	Tolueno diisocianato
TR	Transparente

1. Introdução

Neste primeiro capítulo estão descritos os objetivos da dissertação e o enquadramento do trabalho, ou seja, a descrição da empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis S.A..

1.1. Objetivos

Os objetivos propostos pela empresa consistiram no estudo da força de laminagem dos complexos, no estudo do coeficiente de atrito e na identificação dos espectros dos componentes dos adesivos.

No que diz respeito ao estudo da força de laminagem concentrou-se o trabalho na evolução da reticulação dos adesivos após a complexagem tendo em conta a influência da tinta e do metalizado na força de laminagem.

Por sua vez, no estudo do coeficiente de atrito avaliou-se a influência da complexagem no coeficiente de atrito do produto acabado, tendo em conta a influência da espessura do Polietileno (PE), o tipo de filme impresso, a presença de tintas e verniz mate, a temperatura, a tensão de enrolamento e o tipo de adesivo usado (com e sem solvente).

Por último, relativamente à identificação dos espectros dos componentes dos adesivos procurou-se identificar cada componente e estudar a evolução da reticulação dos adesivos.

1.2. Monteiro, Ribas

O trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial, nomeadamente na empresa Monteiro, Ribas (figura 1.1), mais concretamente na fábrica de Embalagens Flexíveis. Esta localiza-se na Circunvalação nº 9020, 4250-140, Porto.



Figura 1.1. Símbolo da Monteiro, Ribas [1]

O grupo empresarial Monteiro Ribas remonta a 1937, quando Manuel Alves Monteiro e António Bessa Ribas decidem constituir uma sociedade, sendo que naquela altura a empresa tinha o nome de Fábrica Portuguesa de Curtumes de Monteiro, Bessa Ribas & C^a, Lda. Como o próprio nome indica, a empresa em questão estava direcionada para a área dos Curtumes, vindo mais tarde a diversificar-se (meados da década de 60) [1].

Nos dias de hoje, a empresa opera em setores diversificados da indústria, nomeadamente, embalagens, couro artificial, borracha e energia. Além disso, compete no mercado global e serve clientes na área alimentar, calçado, marroquinaria, vestuário, estofos, automóvel, ferroviária, electrodomésticos e construção civil.

Monteiro, Ribas é uma empresa familiar, sendo detida, na sua maioria, por descendentes dos dois sócios fundadores, empregando cerca de 400 pessoas [2].

1.2.1. Unidades de Negócio e Empresas Associadas

O grupo empresarial Monteiro, Ribas é composto por várias unidades de negócio, nomeadamente [2]:

- ❖ Unidade K – Borracha: trata-se do único produtor nacional de placas de borracha para solados que emprega cerca de 40 colaboradores. Além disso, cerca de 30% da sua produção é exportada para a Europa, África e América do Sul;
- ❖ CTB – Componentes Técnicos em Borracha: esta unidade resultou da unidade K e a sua atividade centra-se na produção de componentes técnicos em borracha pelos processos de compressão, transferência e injeção. Além disso, emprega cerca de 45 trabalhadores e os produtos destinam-se ao setor automóvel e eletrodoméstico, entre outros;

Além disso, também possui várias empresas associadas, nomeadamente [2]:

- ❖ Monteiro Ribas - Revestimentos: nesta unidade é produzido couro artificial que se destina às indústrias de estofos, calçado, marroquinaria e setor automóvel. Emprega cerca de 72 trabalhadores e 70% da sua produção é exportada;
- ❖ Monteiro Ribas - Produção e Distribuição de Energia: esta unidade produz energia elétrica através de um sistema de cogeração, que vende à Rede Elétrica Nacional (EDP). Além disso, conta com a colaboração de 5 elementos, trabalhando em contínuo e produz energia térmica que é posteriormente fornecida às Unidades de Controlo;
- ❖ Wood Milne International – Artefactos de Borracha: esta unidade dedica-se à comercialização de placas de borracha para a indústria de calçado. Os seus principais mercados de exportação são a Europa, África e o Médio Oriente;
- ❖ Flexocol – Fábrica de Artefactos de Borracha: esta unidade é especializada no fabrico de peças técnicas em borracha.
- ❖ Monteiro Ribas - Embalagens Flexíveis: esta unidade emprega cerca de 140 trabalhadores e dedica-se à impressão e laminagem de filmes, assim como à confeção de sacos e formatos para as indústrias alimentar e química, exportando mais de 50% da sua produção.

1.3. Monteiro Ribas - Embalagens Flexíveis

Como já foi referido, a empresa Monteiro Ribas possui diversas áreas, sendo que a dissertação em questão apenas incidiu na unidade de Embalagens Flexíveis (figura 1.2).



Figura 1.2. Símbolo da empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A. [1]

1.3.1. Breve história

A chamada fábrica dos Plásticos arrancou em 1962, sendo que iniciou a produção com a extrusão de polietileno e impressão em flexografia, mais tarde substituída pela impressão em rotogravura, sendo produzidas películas com destino à indústria alimentar na sua maioria [2].

A partir dos anos 90, foi reforçada a posição no mercado de exportação, especializando-se progressivamente no mercado agroalimentar. Em 2005 a exportação atinge um peso de 50% das vendas [2].

1.3.2. Qualidade

Ao longo dos anos, a fábrica de embalagens adquiriu certificações, nomeadamente, Norma Portuguesa EN ISO 9001:2008, Norma Portuguesa EN ISO 22000:2005 e *Global Standard for Packaging and Packaging Materials* (BRC IoP.4, Cat.1). Estas certificações constituem um Sistema de Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar pois, uma vez que se trata de uma empresa cujos produtos estarão em contacto com produtos alimentares, é necessário respeitar uma série de regras de forma a garantir a qualidade e segurança dos produtos. Além disso, o Controlo de Qualidade também é feito num laboratório existente na fábrica onde são realizados testes de forma a controlar a qualidade dos produtos.

1.3.3. Tecnologias e Produtos

As tecnologias usadas permitem uma impressão em rotogravura até 10 cores, em quadricomias ou em tons degradé. Além disso, as máquinas para laminagem (com e sem solvente), confeção de sacos e rebobinagem permitem responder a uma diversidade de aplicações finais [1].

Relativamente aos produtos, produzem-se filmes em bobina destinados a diversos tipos de máquinas de embalar, nomeadamente, operculagem, *flowpack*, máquinas verticais e *doy-pack*, entre outros. Os sacos podem ser de duas, três ou mais soldaduras, de fole lateral, euro-furo ou também com possibilidade de abertura fácil por pelabilidade ou rasgo. Dos filmes produzidos destacam-se os filmes barreira, anti-embaciamento (anti-fog), *hot-tack* especial, peláveis, anti-perfurante, filmes para atmosfera modificada e filmes macroperfurados [1].

1.3.4. Mercado

Mais de metade dos produtos produzidos na unidade de Embalagens flexíveis é exportada, como se pode verificar na figura 1.3.



Figura 1.3. Gráfico representativo da parte correspondente às exportações e a Portugal [1]

1.3.5. Constituição da Unidade de Embalagens Flexíveis

A unidade de Embalagens Flexíveis é constituída por seis pavilhões. O pavilhão um é constituído por um pequeno armazém de produtos químicos (vernizes, tintas, etc.) e pelo armazém de matérias-primas. No que diz respeito ao pavilhão dois, neste encontram-se três das cinco máquinas de impressão (4, 6 e 8 cores), a nova máquina de complexagem com solvente (C5) e também possui uma parte para manutenção e outra para o material em curso de fabrico. Relativamente ao pavilhão três, neste encontram-se as outras duas máquinas de impressão (10 e 8IC cores, esta última também permite a laminagem dos filmes em linha) e as restantes máquinas de complexagem, nomeadamente a C2 (máquina em que a cola usada é base solvente), C3 e C4 (ambas usam cola sem solvente). Por sua vez, no pavilhão quatro encontram-se as máquinas de corte, as saqueiras, o armazém de produtos acabados e a zona de embalagem. Por último, existe o pavilhão cinco e o pavilhão seis, em que o primeiro é designado por expedição e o segundo por armazém de cilindros.

Na unidade em questão também existe um laboratório onde é feito o Controlo de Qualidade. O laboratório possui diferentes equipamentos que são usados para diferentes fins como será descrito mais à frente.

1.3.6. Fluxograma Geral de Fabrico

Na figura 1.4 pode ver-se o fluxograma geral de fabrico da unidade de Embalagens Flexíveis que mostra as fases pelas quais a matéria-prima tem de passar para serem produzidas as embalagens flexíveis.

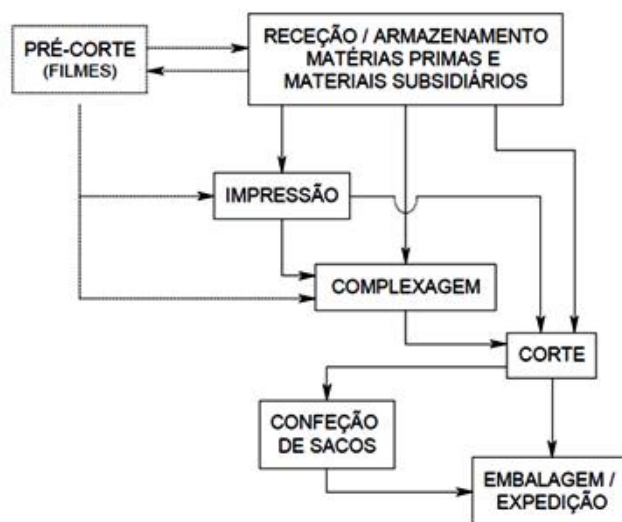


Figura 1.4. Fluxograma Geral de Fabrico [3]

Através da análise da figura, verifica-se que desde a fase das matérias-primas, até ao produto acabado propriamente dito, os materiais poderão ter de passar pelo corte, impressão, complexagem, confeção de sacos e por fim a embalagem/expedição.

Na fase de **receção**, as matérias-primas (filmes, tintas, adesivos, aditivos e solventes), assim como materiais subsidiários (mandris, etiquetas, embalagens primárias, paletes, cilindros, etc.) são rececionados e descarregados no armazém de matérias-primas.

Segue-se a fase de **impressão** de filmes flexíveis por um processo de Rotogravura que consiste na transferência de tintas de impressão, em base solvente (acetato de etilo e álcool etílico), utilizando cilindros gravados, seguido por um processo de secagem em estufa. As tintas e vernizes utilizados são de diferentes tipos e a impressão [3].

No que diz respeito à **complexagem**, nesta fase é feita a junção de dois ou mais filmes diferentes, por aplicação de adesivo (com ou sem solvente).

Depois efetua-se o **corte** longitudinal das margens das bobinas de filme resultantes da impressão e/ou complexagem e a separação nas bobinas finais que formam o produto acabado. Relativamente à **confeção de sacos**, estes são feitos de acordo com as especificações do cliente, podendo assim serem feitos diferentes tipos de sacos. Sendo assim, o filme produzido é encaminhado para as saqueiras que lhe confere a forma de saco definida [3].

Por último, o produto acabado é **embalado** para ser posteriormente enviado para o cliente. O transporte para os clientes é realizado por subcontratados.

1.3.7. Materiais usados

Os principais materiais usados são: **poliéster** (PET), **polietileno** (PE), **polipropileno** (PP), **poliamida** (PA) e as suas variantes metalizados, mono ou biorientados, barreira, transparente e alumínio (AL).

1.3.7.1. Filmes metalizados

Por vezes, em vez de se usar o alumínio como barreira, usam-se filmes metalizados. Esta camada metalizada confere uma melhoria significativa na barreira a gases, vapor de água, vapores orgânicos e luz. O processo de metalização consiste na evaporação do alumínio e na sua deposição no substrato na forma de uma camada fina, sendo que essa deposição se dá por condensação [4].

O aumento do uso de embalagens metalizadas deve-se às suas propriedades barreira, como já foi referido, e ao seu apelo no mercado, devido ao seu brilho. No entanto, existe um senão, uma vez que a integridade e a aparência deste tipo de embalagem são comprometidas quando ocorre a deslaminagem da estrutura multicamada. A resistência à deslaminagem de um material está relacionada com a capacidade de adesão das superfícies, sendo que no caso deste tipo de embalagem a primeira é definida pela adesão do metal ao substrato, pelo tipo e quantidade de tratamento superficial, pela gramagem e tempo de cura do adesivo, pela migração de aditivos para a superfície do substrato, pela presença de impressão, pela homogeneização dos componentes do adesivo e as condições de aplicação (temperatura e pressão). Além destes fatores, existem outros que interferem na adesão do metal ao substrato, como a cristalinidade do substrato, a rugosidade, o tamanho de grão e a espessura da camada de alumínio depositada [4].

Os filmes de PET e de PP biorientados (OPP) são os substratos mais usados para metalização devido às suas propriedades superficiais e estabilidade dimensional. Para se obter uma boa ancoragem do metal ao filme plástico, a tensão superficial do filme deve ser na ordem dos 42 dyn/cm, o que exige que os filmes sejam tratados [4].

1.3.7.2. Filmes bi-orientados e mono-orientados

Existem também os filmes biorientados (ex.: Poliamida biorientada (OPA), Polipropileno biorientado (OPP), etc.) e os mono-orientados, também designados por *cast* (ex.:

Polipropileno mono-orientado (CPP), Poliamida mono-orientada (CPA), etc.). Os filmes biorientados já sofreram um estiramento longitudinal e posteriormente transversal que foi promovido por um estiramento mecânico, sendo por isso mais rígidos. Por sua vez, os filmes mono-orientados, ainda não sofreram estiramento transversal e possuem maior resistência à deformação [5].

1.3.7.3. Propriedades dos materiais

De acordo com a aplicação do material, é escolhido aquele que melhor se adequa. Para isso, é necessário conhecer as principais características e os tipos usados em embalagens flexíveis, como se pode ver na tabela 1.1 [6].

Tabela 1.1. Principais características de alguns materiais usados em embalagens flexíveis [6]

Nome do material	Símbolo	Principais Características
Polietileno de baixa densidade	PE	Muito boa barreira à humidade, má barreira a gases e a gordura; Boa soldabilidade; Gama de temperaturas: -50 a 80°C; Boa resistência à tração e à perfuração/impacto.
Polipropileno	PP	Boa barreira à humidade (>PE), fraca barreira a gases e gordura; Boa soldabilidade (filme orientado requer revestimento para termossoldagem); gama de temperatura: 0 a 130 °C; Resistência mecânica é variável; elevada transparência (>PE) e excelente brilho; Filme não orientado é frágil a temperaturas baixas.
Polipropileno orientado	OPP	Muito boa barreira à humidade, fraca barreira a gases e à gordura; Fraca soldagem; Gama de temperaturas: -50 a 120°C; Ótima resistência à tração e fraca resistência ao impacto/perfuração.
Polietileno Tereftalato / Poliéster	PET	Média barreira à humidade, média barreira a gases e excelente barreira à gordura; Não solda; Gama de temperaturas: -40 a 220°C; Excelente resistência à tração e boa resistência ao impacto/perfuração.
Poliamida	PA	Má barreira à humidade, boa barreira a gases e excelente barreira à gordura; Não solda; Gama de temperaturas: -50 a 140°C; Elevada estabilidade térmica; Excelente resistência à tração e ao impacto/perfuração; Elevada dureza superficial; Reduzido coeficiente de atrito; Boas propriedades óticas.
Policloreto de vinilideno	PVDC	Excelente barreira à humidade, a gases e à gordura; O PVDC não é usado individualmente.
Copolímero etileno – álcool vinílico	EVOH	Fraca barreira à humidade, excelente barreira a gases e à gordura; O EVOH não é usado individualmente.

1.3.8. Controlo de Qualidade

Neste ramo da indústria é necessário fazer um controlo rigoroso dos produtos para verificar se está tudo em conformidade com as especificações do cliente. O Controlo de Qualidade é feito através da realização de vários ensaios, sendo alguns mencionados de seguida, de acordo com o equipamento:

- ❖ Espectrofotómetro de Infravermelho (FT-IR) – este equipamento é usado para a identificação dos filmes, de forma a identificar de que material se trata. A identificação é feita por comparação dos espectros das amostras com os espectros da base de dados do equipamento;
- ❖ Cromatógrafos – os cromatógrafos são usados para identificar a quantidade de solventes residuais das amostras provenientes da impressão e das complexadoras com solvente, uma vez que é necessário respeitar os limites (15 g de solvente/m²). Também são usados para controlo de amostras da Unidade de Recuperação de Solventes (RSU);
- ❖ Estufa – a estufa é usada para acelerar o processo de reticulação do adesivo de uma determinada amostra, prevendo se o produto obtido estará em conformidade. Com o uso deste equipamento é possível prever se a mistura dos componentes do adesivo foi feita corretamente e se o mesmo foi aplicado corretamente sobre o filme;
- ❖ Balança analítica – este equipamento serve para calcular a gramagem do complexo, assim como do adesivo e comparar com os valores especificados pelo cliente. O procedimento para a determinação da gramagem é feito da seguinte forma:
 - Para a determinação da gramagem do complexo, deve-se cortar amostras do mesmo, com o auxílio de ferramentas de corte que possuem uma área conhecida (na maioria dos casos usa-se uma área circular de 100 dm²). Depois pesam-se as amostras e ao valor registado pela balança, multiplica-se por 100 de forma a obter a gramagem em g/m²;
 - Para a determinação da gramagem do adesivo, também se cortam amostras e pesam-se, procedendo da mesma forma que no ponto anterior. Depois retira-se a cola/adesivo da película e volta-se a pesar. O valor da gramagem do adesivo é obtido através da diferença entre a pesagem inicial e a final, multiplicando ambos os valores por 100. Se o filme possuir tinta, também é necessário proceder a uma pesagem de amostras do filme impresso com tinta e depois sem tinta.
- ❖ Datacolor – este equipamento é utilizado para comparação das tonalidades dos filmes impressos com os padrões de fabrico, bem como para comparação de opacidade de filmes brancos.

- ❖ Karl Fisher – serve para determinar o teor de água dos solventes voláteis da RSU;
- ❖ Analizador de permeabilidade de oxigênio – este equipamento é utilizado para determinação da taxa de transmissão do oxigênio nos diferentes tipos de filmes (matéria prima ou complexos com barreira).
- ❖ Heat Sealer – equipamento que permite a determinação da temperatura de selagem dos materiais, assim como do *Hot Tack*;
- ❖ Dinamómetro – no dinamómetro são realizados vários ensaios como o coeficiente de atrito, resistência à deslaminagem, tração, força de soldagem, resistência à propagação ao rasgo, resistência inicial ao rasgo e resistência à perfuração;
- ❖ Medidor de espessura – equipamento que permite a medição da espessura dos materiais.
- ❖ Politeste – O Politeste serve para identificar a face com tratamento Corona, por isso deve-se riscar com a caneta as duas faces e a que fica riscada é a que possui tratamento e onde poderá ser aplicada a tinta e o adesivo;

2. Estado da Arte

Neste capítulo apresentam-se os conhecimentos teóricos que serviram de suporte à dissertação.

2.1. Embalagens flexíveis

As embalagens são estruturas externas que se moldam de acordo com as dimensões do produto, servindo para protegê-lo e armazená-lo adequadamente evitando o contacto com o meio envolvente. Além disso, existe uma interligação entre a embalagem e o produto uma vez que o produto não pode ser pensado independentemente da embalagem e vice-versa [4].

O sistema de embalagem é exclusivo para cada produto, tipo de movimentações e armazenagens, transporte e condições climáticas, pelo que se deve conhecer todo o trajeto desde a embalagem até à utilização do produto pelo consumidor.

Existem vários tipos de materiais usados para a fabricação de embalagens, nomeadamente, o vidro, o metal, a madeira, o papel e o plástico. Este último possui algumas vantagens relativamente aos outros uma vez que as embalagens de plástico são constituídas por materiais mais leves, podem ser moldadas em diversos formatos, são práticas, modernas, duradouras e são fabricadas por um material mais económico.

Relativamente às embalagens flexíveis, estas são maleáveis e de fácil manuseio, nas quais é possível acondicionar sólidos ou líquidos, em vários volumes, formatos e dimensões, através da estrutura confeccionada utilizando vários tipos de materiais. As suas funções são as seguintes: conter, proteger, comunicar, ser competitivas e convenientes.

As embalagens flexíveis devem responder a uma série de requisitos e devem acima de tudo proteger o produto, dando garantia aos processos de conservação utilizados (vácuo, esterilização, pasteurização, congelamento, etc.), ter uma selagem hermética e ter em conta a possibilidade de ocorrência de processos de deterioração.

Este tipo de embalagem deve ser desenvolvida tendo em consideração várias propriedades, nomeadamente, a permeabilidade ao vapor de água, ao oxigénio e azoto, a permeabilidade a aromas, a óleos e gorduras, deve ser uma barreira à luz, deve ser resistente a altas e baixas temperaturas, deve possuir resistência mecânica, etc. [4].

2.1.1. Propriedades barreira

A propriedade barreira das embalagens flexíveis é de extrema importância uma vez que realça as características de proteção evitando o contacto com o meio externo e possíveis

contaminações. Por um lado o produto precisa de ser protegido contra danos físicos e mecânicos durante o transporte e distribuição, por outro lado é necessário garantir a proteção contra a ação de fatores ambientais como gases, vapor de água, luz e odores.

No que diz respeito à barreira à transferência do exterior para o interior, as embalagens devem desempenhar uma barreira ao oxigénio e ao vapor de água, assim como às substâncias voláteis presentes no meio ambiente (fumos, aromas, etc.) que possam alterar o gosto ou o odor dos alimentos. Por sua vez, a barreira à transferência do interior para o exterior, deve ser feita de forma a evitar a perda de aroma do produto, desidratação de produtos e perda de gás ou mistura gasosa que pode ser introduzida no interior da embalagem para conservação do produto [6].

2.1.2. Migração

A migração diz respeito à transferência de substâncias a partir da parede da embalagem para o alimento. Esta questão é de grande interesse e importância uma vez que podem ocorrer problemas de ordem toxicológica, de ordem organolética ou com perda de características do material de embalagens através da migração de alguns aditivos [6].

2.2. Complexagem

Como já foi referido, as embalagens devem ter boas propriedades de barreira que resultam num longo período de tempo de exposição para venda para o produto. No entanto, quando se usa um polímero simples na composição do filme da embalagem, torna-se difícil obter todas as propriedades necessárias, uma vez que um polímero com boas propriedades de barreira ao oxigénio pode ter baixas propriedades de barreira à água, e outro polímero pode apresentar o comportamento oposto. Assim, com o objetivo de “adicionar” propriedades aos filmes, o processo de laminação/complexagem constitui a união de duas ou mais camadas através da aplicação de um adesivo para se obter um melhor desempenho da embalagem flexível [4].

2.2.1. Adesivos

Os adesivos podem ser definidos como qualquer substância capaz de unir dois materiais. O principal mecanismo utilizado para juntar dois plásticos constitui-se nas forças intermoleculares [5].

No que diz respeito às interações moleculares de curto alcance incluem as ligações covalentes e iónicas. Depois existem as ligações designadas por Pontes de Hidrogénio que

ocorrem por exemplo nas poliamidas. Por último as forças mais importantes no que diz respeito à aderência são as forças de *Van der Waals* [7].

Quando se fala em adesivos é necessário ter presente o conceito de adesão e coesão. Adesão é a força atrativa entre moléculas de substância diferentes, por sua vez a coesão corresponde à atração entre moléculas ou átomos de uma mesma substância, isto é, é a força interna que age nos adesivos mantendo as partículas unidas (figura 2.1) [8].

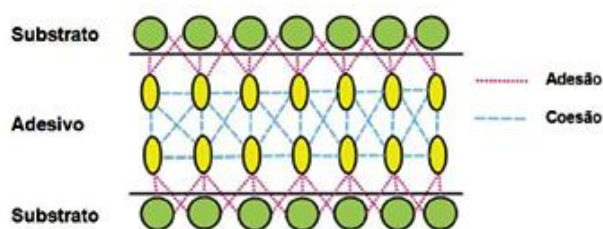


Figura 2.1. Desenho representativo das forças de adesão e coesão entre o substrato e o adesivo [8]

Relativamente à interação entre o adesivo e o substrato, quando uma camada de adesivo é aplicada no substrato, o primeiro age como uma ponte de ligação entre as superfícies dos substratos. Esta ligação irá depender das forças de adesão e coesão. A amplitude da força entre o adesivo e a superfície depende da penetração deste na superfície e esta, por sua vez depende da facilidade do material em espalhar-se na superfície. Quanto maior essa facilidade, melhor será a afinidade do adesivo pelo substrato [9].

Outra questão importante diz respeito ao tratamento que deve ser feito na superfície do substrato. Este irá melhorar a sua afinidade com o adesivo e proporcionar o espalhamento ideal através do aumento da área de contacto e remoção de partículas ou substâncias que possam interferir na adesão e prejudicar o desempenho do adesivo. A preparação de uma superfície pode ser mecânica ou química (uso de primário), dependendo do substrato. Além disso, estes tratamentos fazem com que as tensões superficiais sejam semelhantes entre o adesivo e o substrato facilitando a aderência [9].

No que diz respeito à aplicação do adesivo, esta deve ser feita de forma uniforme sobre o substrato. Os métodos para a sua aplicação podem ser manuais (espátula, pincel, rolo, etc.), semi-automáticos ou automáticos.

2.2.1.1. Seleção de adesivos

A seleção de um adesivo depende de vários fatores que podem conduzir a problemas caso não sejam bem compreendidos ou controlados. Na tabela 2.1 encontram-se alguns fatores químicos, físicos e de desempenho/atuação.

Tabela 2.1. Fatores que afetam a seleção de adesivos em embalagens flexíveis [10]

Químico	Proporção de mistura dos componentes
	Prazo de validade de resinas
	<i>Pot-life</i> * após a mistura
	Tempo de Cura
Físico	Peso Molecular
	Teor de sólidos
	Viscosidade
	Velocidade de Secagem
Desempenho/Atuação	Força de ligação inicial (<i>green tack</i>)
	Força de ligação
	Resistência a ambientes
	Adaptabilidade a processos de laminagem
	Condições de laminagem (temperatura, velocidade, etc)

*Período no qual duas substâncias reativas quimicamente permanecem utilizáveis após a mistura

Existem outras considerações a ter conta na seleção de um adesivo para laminagem, nomeadamente a aderência, força da ligação mecânica, resistência ao calor e química. Além disso, deve-se determinar a capacidade do adesivo fluir uniformemente sobre a superfície da película e formar um revestimento contínuo. Por último, a formulação do adesivo deve ser feita para que qualquer solvente ou água possa ser removida [10].

Outra questão que poderá influenciar a escolha do adesivo diz respeito às características químicas e físicas do próprio substrato. Este pode ser sensível ao adesivo base água ou solvente e pode ser afetado pela estufa.

Sendo assim a escolha adequada do adesivo aliada a uma preparação adequada da superfície poderá garantir um vínculo duradouro e evitar a deslaminagem. Isto poderá implicar a preparação da superfície de películas que possuam uma baixa energia superficial [10].

2.2.1.2. Tratamentos superficiais

Existem polímeros como as poliolefinas, das quais são exemplo o polietileno e o polipropileno, que são muito usados na produção de plásticos e elastómeros devido às suas excelentes propriedades químicas e físicas, assim como o baixo preço e facilidade de processamento. No entanto, as poliolefinas são dos materiais mais difíceis de ligar com os adesivos devido à natureza da sua superfície.

Para melhorar este aspeto têm sido feitos avanços no que diz respeito à ligação de materiais à base de poliolefinas que passam por processos melhorados de preparação de

superfícies e pela introdução de novos adesivos que são capazes de ligar-se ao substrato das mesmas [11].

Como já foi referido, para ocorrer a ligação de duas superfícies, o adesivo deve molhar a superfície e ser capaz de penetrar na mesma para proporcionar uma ligação mecânica. Para que os adesivos adiram é necessário que a superfície tenha uma tensão mínima de 38 dyn/cm. No caso das poliolefinas a ligação é difícil porque grande parte dos adesivos não molham nem penetram na superfície devido à sua elevada resistência química.

A capacidade para molhar uma superfície é medida por medidas de ângulo de contacto ou energia superficial. Para qualquer adesivo poder molhar uma superfície deve ter uma energia superficial igual ou inferior à do substrato, sendo que a gama de energia superficial das poliolefinas é de 30 dyn/cm e dos adesivos é na ordem dos 40 dyn/cm [11]. Na tabela 2.2 encontram-se os valores de tensão superficial de alguns materiais [12].

Tabela 2.2. Valor da tensão superficial para alguns substratos usados em embalagens flexíveis [12]

Substratos	Tensão superficial (dyn/cm)
PU	38
PA	46,5
PET	42
PP	30,1
PE	30
PVDC	45
PVC	41,5

Assim, para se obter uma boa aderência, a superfície das poliolefinas tem de ser tratada de forma a remover contaminantes e aumentar a energia superficial, facilitando a ancoragem de tintas, adesivos e revestimentos (metalizados, PVDC, etc.). Na figura 2.2 encontra-se um esquema das diferenças do ângulo de contacto de uma superfície com baixa energia superficial e outra com alta [13].

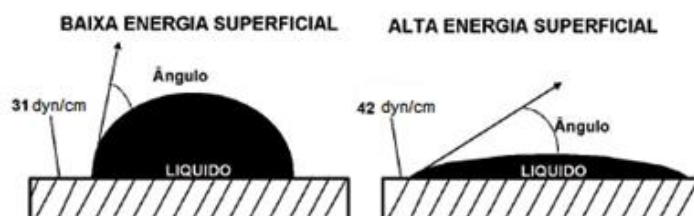


Figura 2.2. Diferença entre uma superfície com baixa energia superficial e outra com alta energia superficial [13]

Em termos matemáticos, a molhabilidade de um sólido por um líquido é dada pela equação de Young [7]:

$$\gamma_{S/V} = \gamma_{S/L} + \gamma_{L/V} \cdot \cos\theta \quad \text{equação (2.1)}$$

$$\gamma_{L/V} \cdot \cos\theta = \gamma_{S/V} - \gamma_{S/L} \quad \text{equação (2.2)}$$

Em que:

$\gamma_{S/V}$ – Corresponde à energia superficial do sólido em equilíbrio com o vapor;

$\gamma_{S/L}$ – Corresponde à energia da interface sólido – líquido;

$\gamma_{L/V}$ – Corresponde à energia superficial do líquido em equilíbrio com o vapor;

θ – Corresponde ao ângulo de contacto.

Na figura 2.3 encontra-se a representação das variáveis referidas anteriormente [14].

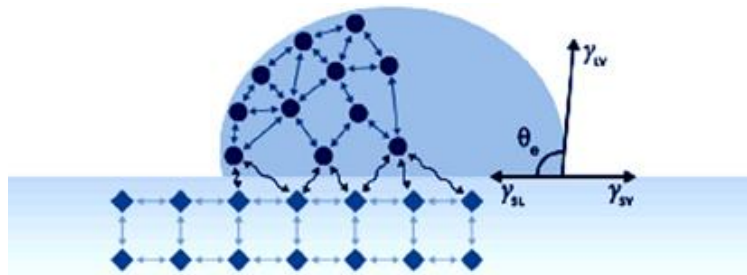


Figura 2.3. Representação esquemática das variáveis [14]

Por sua vez a equação de Dupré permite determinar o trabalho de adesão (W_a) entre o sólido e o líquido [7]:

$$W_a = \gamma_{L/V} + \gamma_{S/V} - \gamma_{S/L} \quad \text{equação (2.3)}$$

Efetuada a combinação algébrica das equações 2.2 e 2.3, obtém-se a equação de Young – Dupré [7]:

$$W_a = \gamma_{L/V} (\cos\theta + 1) \quad \text{equação (2.4)}$$

A equação 2.4 é útil uma vez que relaciona duas grandezas facilmente determináveis, o ângulo de contacto e a tensão superficial líquido – vapor.

Quando o valor do ângulo de contacto é zero, o $\cos\theta=1$, por isso a expressão fica [7]:

$$W_a = 2 \gamma_{L/V} \quad \text{equação (2.5)}$$

Quando isto acontece diz-se que o trabalho de adesão líquido – sólido iguala ou supera o trabalho de coesão do líquido e, por isso, o líquido espalha-se pela superfície sólida apresentando uma alta molhabilidade.

Quanto maior for a energia superficial do substrato sólido relativamente ao líquido (água, tintas de impressão, adesivos, revestimentos, etc.) melhor será o espalhamento e menor será o ângulo de contacto. Regra geral, a ligação de aderência aceitável é alcançada quando a energia superficial de um substrato é 8 – 10 *dyn/cm* maior do que a energia superficial do líquido [15].

Em termos práticos, pode ver-se na figura 2.4 o espalhamento de tinta de impressão numa superfície tratada e outra não tratada [15].

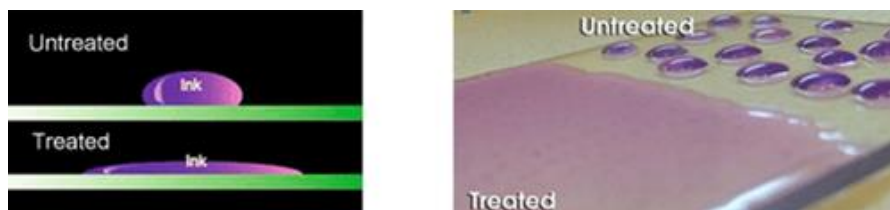


Figura 2.4. Espalhamento de tintas (*ink*) de impressão em superfícies tratadas (*treated*) e não tratadas (*untreated*) [15]

Existem diferentes tipos de tratamentos superficiais, nomeadamente, tratamentos mecânicos, químicos e com gases ionizantes. Este último diz respeito aos tratamentos Corona, por chama e por plasma.

As matérias-primas fornecidas à Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis possuem na sua maioria tratamento Corona ou Químico. No que diz respeito ao tratamento Químico, este consiste na aplicação (normalmente em máquinas impressoras) de um verniz primário (*primer*) na superfície do material de forma a criar condições para a ancoragem de tintas, adesivos e outros revestimentos (metalizado, PVDC, etc.). Por sua vez, o tratamento Corona consiste na aplicação de descargas eletrostáticas sobre a superfície do filme de forma a aumentar a energia superficial. O equipamento é composto por uma fonte de alta frequência, um transformador de alta voltagem e um par de elétrodos (um polar e o outro ligado à terra). O efeito é obtido pela ionização do oxigénio presente entre os elétrodos que polariza a superfície do filme e aumenta a sua energia superficial [16].

2.2.1.3. Classificação dos adesivos

Os adesivos podem ser classificados de acordo com vários parâmetros, como se pode ver na figura 2.5.

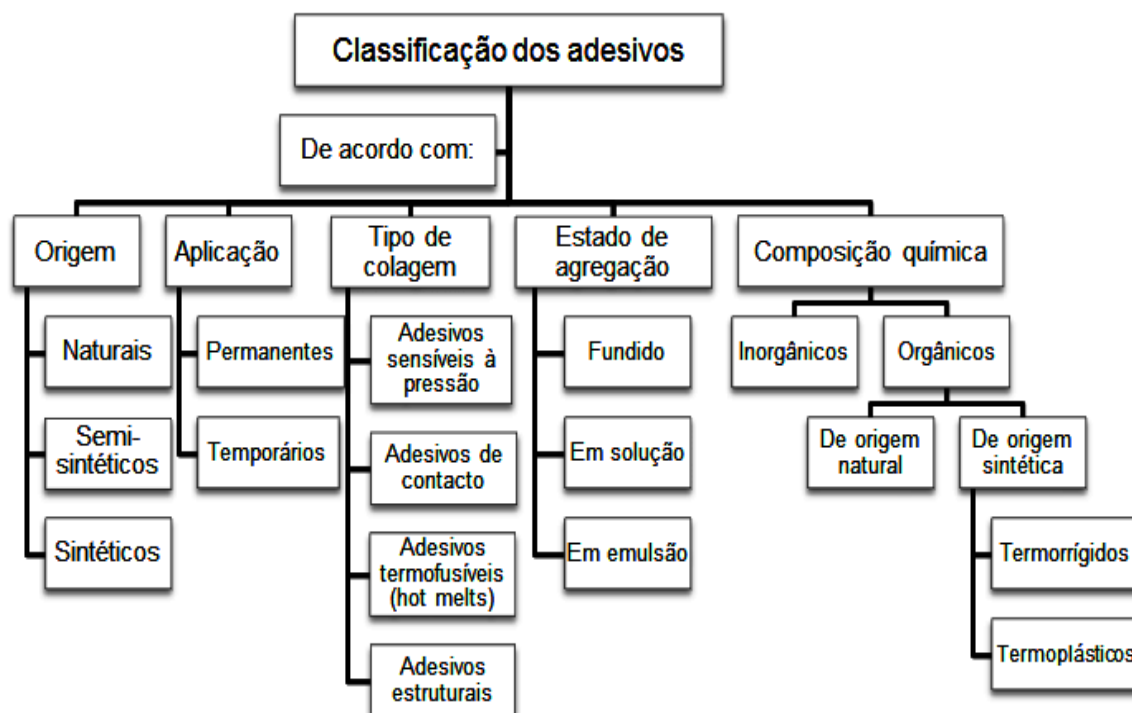


Figura 2.5. Esquema que sintetiza os vários tipos de classificações de adesivos [9]

2.2.1.4. Adesivos de poliuretano

Na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, S.A. são usados adesivos de poliuretano (com e sem solvente). Tendo em conta o esquema apresentado anteriormente, os adesivos de poliuretano podem classificar-se por sintéticos de acordo com a origem e estruturais ou de contacto de acordo com o tipo de colagem, uma vez que no primeiro caso, são constituídos por mais do que um componente e são aplicados após a mistura ocorrendo uma reação, e no segundo aderem pelo contacto decorrido o tempo de secagem. No que diz respeito ao estado de agregação, este tipo de adesivos são aplicados em solução aquosa ou em solvente orgânico, sendo que neste último caso é necessário remover o solvente para que o material adquira a forma sólida. Por último, de acordo com a composição química, os adesivos de poliuretano são orgânicos sintéticos e termoplásticos.

Os adesivos de poliuretano são muito usados na indústria de revestimentos e adesivos uma vez que possuem uma alta reatividade, alta flexibilidade, boas propriedades mecânicas e de adesão e resistência às intempéries.

No que diz respeito à formação deste tipo de adesivos, os adesivos de poliuretano são obtidos a partir da reação (figura 2.6.) de um isocianato com materiais que contenham hidrogénio ativo (um polioliol por exemplo). Os isocianatos são altamente reativos e geram vários produtos quimicamente diferentes quando se combinam com substâncias com funcionalidade – OH [8].

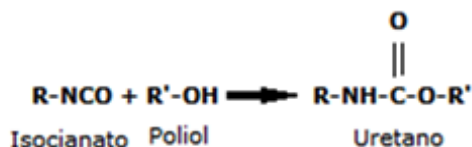


Figura 2.6. Reação entre um isocianato com um polioli para a obtenção do grupo uretano

Relativamente ao grupo Isocianato, existem vários tipos disponíveis comercialmente, sendo que os mais utilizados são: tolueno diisocianato (TDI), difenilmetano diisocianato (MDI) e hexametileno diisocianato (HMDI). Além disso, existem possíveis estruturas de ressonância no grupo NCO como está ilustrado na figura 2.7 [7].

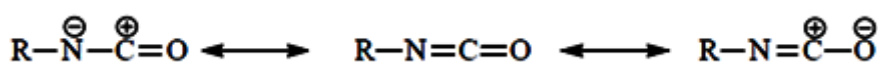


Figura 2.7. Estruturas de ressonância do grupo isocianato [8]

A partir do estudo das estruturas de ressonância, pode afirmar-se que a densidade eletrónica é superior no oxigénio, seguindo-se o azoto e por último o carbono. Sendo assim, a maior parte das reações ocorrem numa adição à dupla ligação C=N pelo ataque de um centro nucleófilo que possua hidrogénio ativo, para que o átomo de hidrogénio seja adicionado ao azoto [8].

Outra reação importante que envolve o isocianato é a reação deste com a água, da qual se forma dióxido de carbono, como se pode ver na figura 2.8 [17].

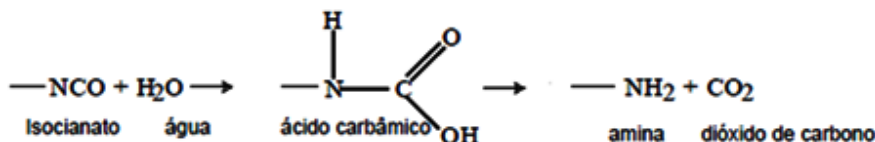


Figura 2.8. Reação do isocianato com a água [17]

A formação do dióxido de carbono pode levar à formação de bolhas que, no caso da utilização de filmes barreira, podem fazer com que após a laminação se notem as bolhas, pois o CO₂ não se consegue libertar, o que se traduz num produto com má aparência.

Por sua vez, os polióis são estruturas que ao reagir com um pré-polímero ou com um diisocianato comercial, podem gerar poliuretanos com diferentes propriedades. Os polióis usados na síntese de poliuretanos podem ser: poliéter polifuncional, polioli poliéster, polioli acrílico ou polioli carbonato [9].

O adesivo de poliuretano é um bom exemplo de um material com uma boa aderência e uma boa coesão. As elevadas forças de adesão devem-se ao facto deste adesivo molhar de forma eficaz a maior parte dos substratos, interagir com o substrato por meio de ligações

polares (pontes de hidrogénio) ou por meio de forças de *Van der Waals*, possuir um baixo peso molecular ou tamanho molecular pequeno o que lhe permite penetrar em substratos porosos e formar ligações covalentes com os substratos que possuem átomos de hidrogénio ativos. Relativamente à coesão, os poliuretanos possuem também uma força de coesão elevada, devido principalmente à formação de regiões semi-cristalinas dentro do material [7].

2.2.1.5. Problemas associados à complexagem

Um problema que por vezes surge na complexagem diz respeito ao efeito designado por “túnel” (figura 2.9). O encapsulamento localiza-se na separação ou deslaminagem do substrato causada por dois filmes de extensibilidade diferente, que se estendem ou relaxam a taxas diferentes. As tensões localizadas produzidas podem ter um efeito prejudicial na aparência e desempenho do laminado [10].

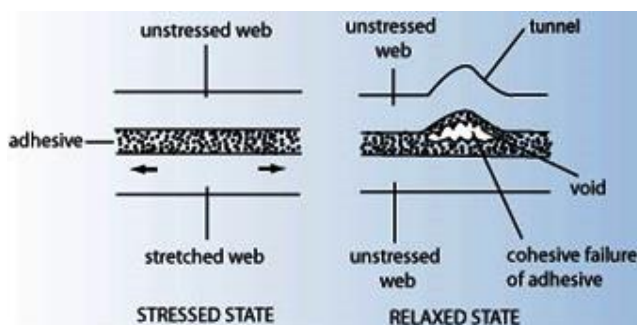


Figura 2.9. Túnel de laminados flexíveis [10]

Existe outro problema que poderá provocar a deslaminagem que diz respeito à migração do agente de deslizamento. Este pode migrar para a superfície e prejudicar a adesão do adesivo ao substrato (figura 2.10) [18].

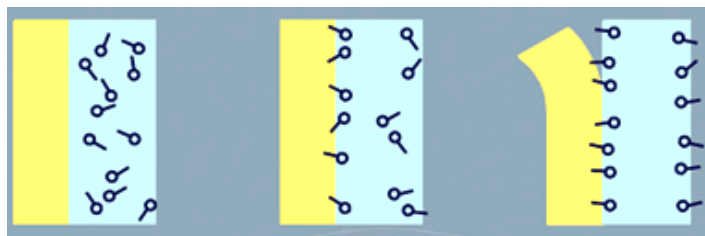


Figura 2.10. Evolução da migração *slip* para a superfície do filme provocando a deslaminagem [18]

As falhas dos complexos podem ser de adesão ou coesão (figura 2.11). A falha adesiva é uma falha de ligação interfacial entre o adesivo e o substrato, por sua vez, a insuficiência coesiva ocorre quando a falha é tal que uma camada de adesivo permanece no substrato [19].

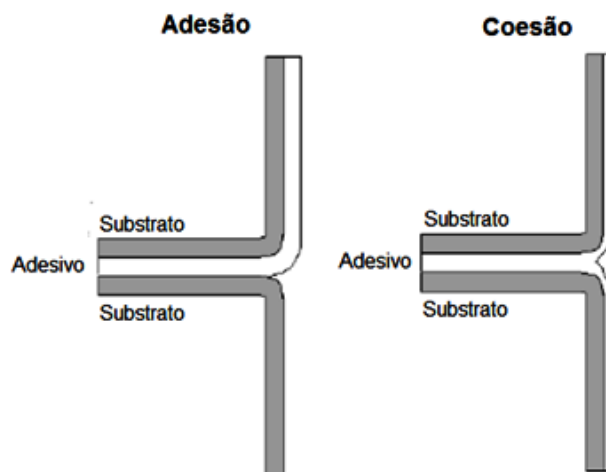


Figura 2.11. Representação das falhas de adesão e de coesão [19]

Existem alguns fatores que poderão definir a resistência à deslaminagem de um complexo, nomeadamente:

- ❖ Grau de adesão/ancoragem do metal ao substrato (no caso dos filmes metalizados);
- ❖ Tipo e quantidade de tratamentos superficiais aplicados ao substrato;
- ❖ Tipo, gramagem e grau de cura do adesivo;
- ❖ Homogeneização dos componentes do adesivo;
- ❖ Condições de aplicação do adesivo (temperatura ambiente, pressão, etc);
- ❖ Migração de aditivos para a superfície do substrato;
- ❖ Presença de impressão e a natureza das tintas;
- ❖ Entre outros.

2.2.2. Efeito da temperatura na complexagem

A temperatura faz com que a viscosidade, densidade e reatividade química dos polióis e dos isocianatos variem, sendo por isso importante proceder ao seu controlo no processo de produção de poliuretanos.

Na empresa é feita a mistura dos componentes para a produção do adesivo de poliuretano e as máquinas medem os componentes pelo volume, por isso se ocorrer alguma mudança na temperatura e na densidade dos componentes, poderá ocorrer um erro na dosagem. Além disso, grandes variações na temperatura que causam grandes mudanças na viscosidade do componente químico poderão afetar a performance da medida da bomba e da eficácia da mistura final, assim como mudar a velocidade de polimerização do poliuretano e afetar a qualidade do produto final [9].

2.2.3. Princípio de funcionamento das máquinas de complexagem

Existem quatro máquinas onde é feita a complexagem na empresa em questão. Em duas delas o adesivo utilizado é com solvente (C2 e C5) e nas outras duas é sem solvente (C3 e C4).

Existe também uma máquina (8IC) que permite a impressão e complexagem em linha, no entanto é mais usada para impressão, não sendo por isso mencionada nesta fase.

De acordo com cada tipo de adesivo usado existem vantagens e desvantagens associadas, como se pode ver na tabela 2.3 [18].

Tabela 2.3. Vantagens e desvantagens da utilização de adesivos com e sem solvente [18]

Tipo de Adesivo	Vantagens	Desvantagens
Com solvente	Força inicial elevada	Custo de energia elevado
	Maior resistência térmica	Risco da existência de solventes residuais
	Fácil de usar	Velocidade limitada pelo tamanho do forno
	Longo <i>Pot-life</i>	Custo adicional para solventes
Sem solvente	Velocidade alta	Necessita de uma dosagem precisa
	Não há solventes residuais	Pequena força inicial
	Baixo gasto de energia	
	Não tem secagem	

2.2.3.1. Máquina C2 e C5

Como foi referido anteriormente, a máquina C2 usa adesivos com solvente o que a torna diferente das outras máquinas, pois esta possui uma estufa para poder secar o solvente e a aplicação do adesivo também é feita de forma diferente.

Numa fase inicial procede-se à preparação do adesivo, para isso, pesa-se separadamente a cola (componente NCO), o aditivo (componente OH) e o solvente (acetato de etilo) de acordo com as proporções tabeladas estabelecidas pelo fabricante. Depois, procede-se à mistura dos componentes, e coloca-se numa panela. Através de uma bomba a mistura é bombeada até ao local de aplicação da mesma, onde uma raclete vai tirar o excesso de cola que volta para a panela (circuito fechado). A aplicação da cola no filme é feita de uma forma direta, ou seja, o rolo (1) que entra diretamente em contato com a cola, também a aplica ao filme com o auxílio de um pressor (2) que ao fazer pressão sobre o filme permite a aplicação da cola (3).

Após a aplicação do adesivo com solvente no filme, este irá passar por uma estufa onde irá ser retirada a maior quantidade possível de solvente. A estufa também acelera o

processo de secagem do adesivo o que vai facilitar e acelerar o processo de reticulação. A reticulação do adesivo começa logo após a mistura dos componentes do adesivo e posterior aplicação no filme.

O passo seguinte corresponde à união (colagem) dos dois filmes. O primeiro filme que vem da estufa irá passar pela calandra onde existe um rolo com aquecimento que ao fazer pressão sobre o anterior irá permitir a união dos dois filmes. Os dois rolos seguintes também possuem aquecimento e servem para direcionar o filme e para facilitar o processo de reticulação. A temperatura dos rolos é obtida através de água quente (entre 45 e 55°C).

Relativamente à velocidade de processamento, esta poderá atingir o valor máximo de 110 m/min. Valores acima deste não são possíveis porque para além de se tratar de uma máquina já antiga, como se tem de secar bem a cola na estufa, para se retirar a maior quantidade possível de solvente, velocidades mais elevadas poderiam traduzir-se num aumento da retenção de solventes o que já estaria fora dos limites legais especificados.

Nesta máquina (C2) produzem-se filmes em triplex e duplex e na figura 2.12 encontra-se um esquema que representa o princípio de funcionamento deste tipo de máquina onde a laminação é feita a seco [19].

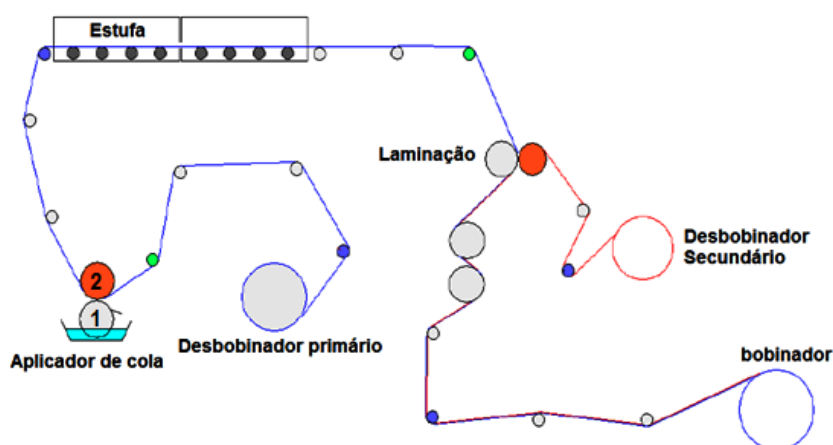


Figura 2.12. Princípio de funcionamento da máquina C2 [19]

A Complexadora C5 tem o mesmo princípio de funcionamento mas trata-se de uma máquina mais recente e por isso mais moderna.

2.2.3.2. Máquina C3 e C4

A máquina C3 utiliza adesivos sem solvente existindo várias diferenças na aplicação da cola quando comparada com a máquina C2 e C5, além disso, não possui estufa.

Sendo assim, os componentes do adesivo são bombeados separadamente para duas painéis. Estas estão isoladas termicamente e estão a uma determinada temperatura (30 –

60°C) para a viscosidade dos componentes baixar e permitir a sua aplicação. Além disso, a proporção (de acordo com as formulações presentes nas fichas técnicas) pretendida para cada trabalho é feita automaticamente por um doseador. Depois cada componente segue, ainda separadamente, por um tubo isolado termicamente e com um sistema de aquecimento (40 – 50°C) e só se misturam no final desse tubo onde se encontra um sistema em espiral que irá fazer a mistura dos dois componentes. Estes só podem misturar-se no final pois caso contrário começariam a reagir um com o outro antes de serem aplicados no filme.

Após a afinação da zona de cola, que tem de ser feita antes de iniciar cada trabalho, esta é aplicada entre os dois primeiros rolos (1 e 2) que estão a uma temperatura entre 35 e 50°C. Esta temperatura é atingida com o auxílio de água quente que irá circular no interior dos rolos. O rolo 1 encontra-se parado, por sua vez o rolo 2 está a rodar no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio. De seguida, com o auxílio do pressor (3), a cola vai ser aplicada no filme devido à pressão exercida pelo mesmo. Para a união do primeiro filme com o segundo, o primeiro é direcionado para a calandra (4) que também está aquecida (35 – 50°C) e com o auxílio do pressor representado por 5 vai ocorrer a união dos dois filmes pois este vai pressionar o segundo filme contra o primeiro. Como se pode verificar, neste caso a aplicação do adesivo é feita de forma indireta, ao contrário do que se verificou na máquina C2. Através da figura 2.13 pode ver-se um esquema com o princípio de funcionamento deste tipo de máquina, com a aplicação do adesivo [19].

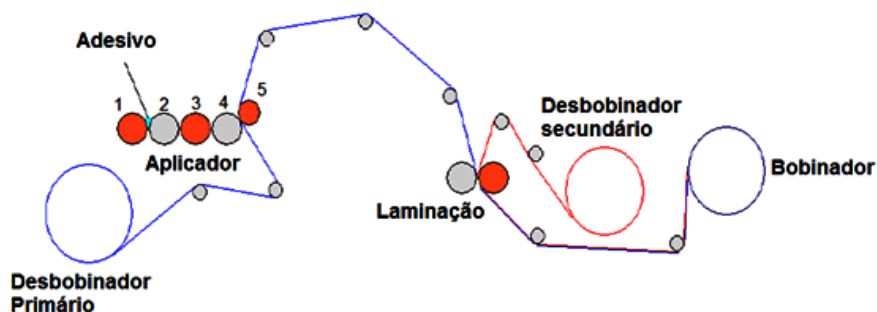


Figura 2.13. Princípio de funcionamento da máquina C3 [19]

Relativamente à velocidade de processamento, esta depende do tipo de trabalho. Nesta máquina pode atingir-se uma velocidade de cerca de 200 m/min.

Outra curiosidade desta máquina é que possui um sistema que realiza o tratamento de Corona, no entanto este tratamento não é feito pela máquina uma vez que as matérias-primas já possuem tratamento superficial.

O princípio de funcionamento da máquina C4 é muito semelhante à máquina C3, no entanto trata-se de uma máquina mais recente e, por isso, mais mecanizada, não necessitando de tantas afinações por parte do operador. Além disso, não possui o sistema

de tratamento de Corona e a sua velocidade de processamento é bastante superior, podendo atingir os 400 m/min (dependendo do trabalho).

2.3. Coeficiente de atrito (COF)

Estando presente no quotidiano de qualquer pessoa, o atrito é a força invisível que permite ou impede o movimento de duas superfícies que estão em contacto uma com a outra [20].

O COF é determinado dividindo a força necessária para mover uma superfície através de uma outra pela força perpendicular às superfícies. Um coeficiente de atrito mais baixo indica uma menor resistência ao movimento de deslizamento ou uma maior quantidade de agente de deslizamento (*slip*). Além disso, este valor pode variar de acordo com os acabamentos na superfície dos materiais e da contaminação das mesmas [21].

No que diz respeito ao ensaio de coeficiente de atrito para filmes flexíveis são obtidos dois valores, nomeadamente, o coeficiente de atrito estático (μ_s) que corresponde à força necessária para iniciar o movimento entre duas superfícies e o coeficiente de atrito cinético ou dinâmico (μ_D) que corresponde à força necessária para manter o movimento entre as duas superfícies. Na figura 2.14 encontra-se uma curva característica de um ensaio de COF (COF em função da extensão do provete) [22].

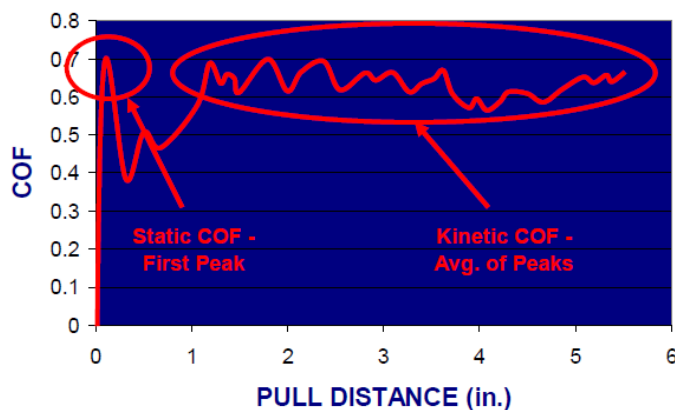


Figura 2.14. Gráfico característico de um ensaio de COF [22]

O COF é uma propriedade crítica de todos os materiais que se deslocam sobre a linhas de impressão, complexagem e de embalagem. Mas existem outras aplicações onde o COF é crítico, nomeadamente no empilhamento de sacos. Por isso, controlar o COF dá aos operadores a capacidade de otimizar o desempenho e evitar problemas na formação, transporte e armazenamento de embalagens.

2.3.1. Amidas

Existem aditivos que melhoram e reduzem os problemas de manuseamento e são usados extensivamente na fabricação de poliolefinas. Naturalmente a maioria das poliolefinas possuem um certo grau de “adesividade” e por isso não podem ser facilmente transformadas em películas para embalagem sem a presença de aditivos para facilitar a sua capacidade para se separarem e deslizarem [23].

As amidas de ácidos gordos são um exemplo desses aditivos, sendo os aditivos mais usados como *slip* (promovem o deslizamento, baixando o valor do COF). Durante o processamento são misturadas no fundido amorfo e à medida que o polímero arrefece e se cristaliza as amidas de ácidos gordos migram para fora e formam uma camada lubrificante na superfície do polímero. Trata-se de substâncias incompatíveis com o polímero e por isso migram para a superfície formando uma estrutura cristalina que diminui o atrito [24].

De todos os tipos de amidas, as mais usadas são a erucamida (usada nas matérias primas da empresa) seguindo-se a oleamida (tabela 2.4). Ao escolher qual o tipo de *slip* deve-se ter em consideração a taxa de migração, a eficiência na redução da estabilidade térmica e COF [25].

Tabela 2.4. Fórmula química e ponto de fusão dos *slips* do tipo erucamida e oleamida [24]

Tipo	Fórmula química	Ponto de fusão (°C)
Erucamida	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_{11} - \text{CONH}_2$	66~72
Oleamida	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CONH}_2$	79~85

No que diz respeito às taxas de migração, estas variam de acordo com o tipo de amida, tipo de polímero, concentração de *slip* e temperatura. Erucamida e oleamida insaturada migram rapidamente, sendo os *slips* mais eficientes para poliolefinas (capazes de reduzir COF para 0,2 ou menos). Por sua vez, amidas com moléculas maiores têm taxas de migração muito lentas e podem ser usadas em filmes multicamada [24].

Comparando a erucamida com a oleamida, esta possui uma taxa de migração ainda mais elevada do que a primeira, por isso é usada quando se pretende obter um valor de COF baixo num curto período de tempo. No entanto, após um certo tempo, a erucamida que é mais lenta, irá fornecer um COF inferior ao da oleamida devido à sua baixa pressão de vapor e volatilidade, sendo usada em processamentos com temperaturas mais elevadas pois permanece na superfície e não volatiliza. Na figura 2.15 pode ver-se o comportamento dos dois tipos de *slip* e da estereamida que é usada por vezes em conjunto com erucamida e oleamida como *slip* ou para proporcionar um efeito *anti-blocking* (este efeito é provocado pela adição de aditivos *antiblock* que têm como função evitar o bloqueio, ou seja, a adesão

de uma película a outra causada pelo contacto sob pressão e calor) quando a transparência do filme é muito importante [24].

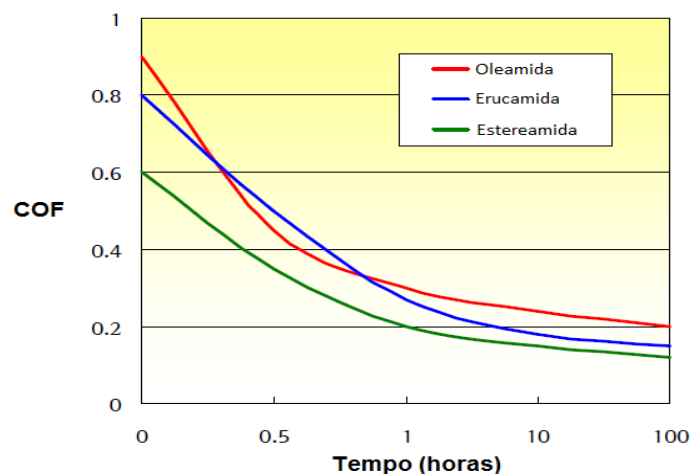


Figura 2.15. Comportamento dos diferentes tipos de *slips* ao longo do tempo [24]

Para além da redução do valor do COF, outra questão importante é a estabilidade oxidativa térmica uma vez que cada vez mais se processam polímeros a altas temperaturas. A degradação oxidativa do *slip* pode resultar em perda de propriedades de deslizamento, aumento da cor e do odor. As amidas com maior estabilidade térmica são menos voláteis e por isso mantêm-se no polímero, mesmo a temperaturas mais elevadas. Erucamida e oleamida saturadas oferecem uma melhor estabilidade térmica do que as suas versões não saturadas, sendo mesmo assim, as erucamidas mais estáveis termicamente do que as oleamidas. No que diz respeito às amidas secundárias, estas são ainda mais estáveis termicamente [25].

Quando se seleciona o tipo de *slip* a usar é necessário ter em consideração que [23]:

- ❖ A taxa de migração para a superfície do *slip* é demorada e o valor final do COF só é obtido 7 a 10 dias após a extrusão (dependendo do tipo de amida utilizada). Normalmente a maior redução do COF ocorre entre 24 a 48 horas, atingindo ao fim de algum tempo um estado estável e constante dependendo da concentração de *slip* (em ppm) (figura 2.16);
- ❖ Os *slips* devem ser adaptados ao processo de acordo com as propriedades finais, ou seja, em alguns casos pode ser necessária uma oleamida com uma taxa de migração para a superfície mais rápida, enquanto que, noutros casos, uma taxa mais lenta é mais indicada;
- ❖ Elevados níveis de deslizamento podem causar problemas nos tratamentos superficiais do filme, assim como interferir com a fase de impressão ou selagem;
- ❖ A quantidade de *slip* aplicada deve ser reduzida quando a espessura do filme é maior para se manter o mesmo valor de COF;

- ❖ Pequenas quantidades de *slip* ajudam na capacidade de processamento;

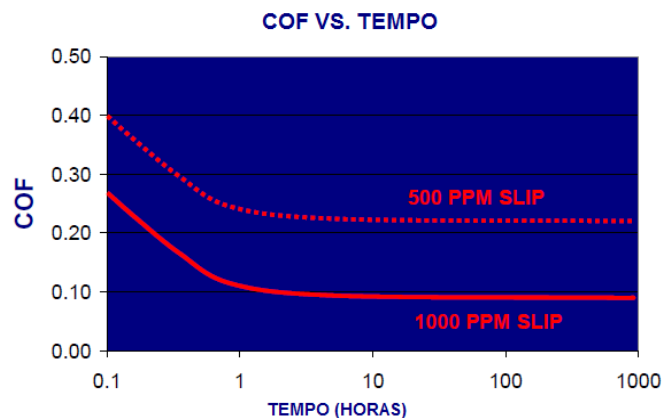


Figura 2.16. Variação do COF em função do tempo após a extrusão de um polímero [22]

Existem diversos fatores que podem influenciar o coeficiente de atrito, nomeadamente:

O valor do COF pode ser afetado por vários fatores:

- ❖ Aditivos antiblocks;
- ❖ Agentes anti-estáticos: Os plásticos são materiais eletricamente isolantes que não conduzem a corrente elétrica e não dissipam as cargas estáticas, no entanto no processo de transformação essas cargas são geradas devido ao atrito decorrente do processo, ficando retidas na superfície do material sem se dissiparem. O produto final começa então a atrair com facilidade poeiras e partículas dispersas na atmosfera. Surgem então os **aditivos anti-estáticos** sendo que a proteção anti-estática é possível devido à dissipação de eletrões na superfície do polímero. As partes hidrofóbicas da molécula do agente fixam-se à macromolécula e separam-na de um contacto direto com a humidade do ar. A parte hidrófila permite que a adsorção da humidade aumente a condutividade da superfície [26];
- ❖ Agentes anti-fog: Por vezes a aparência visual de produtos embalados com elevado teor de água pode ser prejudicada através do embaciamento causado pela condensação da água, formando pequenas gotas sobre a superfície interior da película de plástico. São então usados os agentes **anti-fog** que diminuem a tensão superficial das gotículas de água, levando-as a unir e formar uma camada transparente e contínua [26];
- ❖ Tratamento Corona;
- ❖ Tintas, vernizes, adesivos, etc..

3. Descrição Experimental

Neste capítulo será descrita a componente experimental da dissertação, que consistiu na utilização de dois equipamentos presentes no laboratório da empresa em questão, nomeadamente, o dinamómetro e o espectrofotómetro.

3.1. Ensaios realizados no Dinamómetro

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios foi o dinamómetro *Hounsfield*. Neste equipamento podem ser realizados vários ensaios, mas apenas se realizou dois tipos de acordo com as respetivas normas:

- ❖ ASTM D1876 – Determinação da resistência à deslaminagem;
- ❖ ASTM D1894 – Ensaio de coeficiente de atrito;
- ❖ Determinação da resistência à perfuração.

Nos ensaios referidos anteriormente, consideraram-se as condições ambientais padrão, nomeadamente, temperatura de 24°C e humidade relativa de 50%.

3.1.1. ASTM 1876 – Determinação da resistência à Deslaminagem

Para o estudo da influência da tinta e dos metalizados na força de laminagem utilizou-se a norma ASTM D1876 – 08 “*Standard Test Method Peel Resistance Of Adhesives (T – Peel Test)*”. Este método permite a determinação da força necessária para separar dois substratos unidos pela presença de um adesivo, tratando-se de substratos plásticos e flexíveis.

As amostras usadas neste ensaio foram recolhidas logo após a complexagem das mesmas de forma a poder ser feito um acompanhamento da evolução da força de laminagem ao longo do tempo. Além disso, as amostras eram constituídas por vários materiais, nomeadamente, OPP, OPP metalizado, CPP, OPA, PET Químico (Q), PET Q metalizado, PE Linear, PE EVOH, PE Linear>COF, etc. tratando-se de um duplex ou triplex de acordo com a situação.

3.1.1.1. Procedimento experimental

Inicialmente é necessário proceder à montagem das peças do dinamómetro *Hounsfield* que serão necessárias para este ensaio de acordo com a norma como se pode ver na figura 3.1.



Figura 3.1. Dinamómetro de *Hounsfield* com as garras e a célula de 500N montadas

Depois, procede-se à preparação da amostra (figura 3.2):

- ❖ Cortar 5 provetes do filme complexo com as dimensões de 15mm de largura e 305mm de comprimento;
- ❖ Proceder à deslaminagem manual de 76mm de comprimento de cada amostra. Em algumas situações poderá ser necessário o auxílio de um solvente (acetato de etilo) para proceder à deslaminagem. Sendo assim, mergulham-se alguns milímetros da amostra em acetato de etilo, depois retira-se e procede-se à separação dos substratos. Por último é necessário secar bem a amostra;

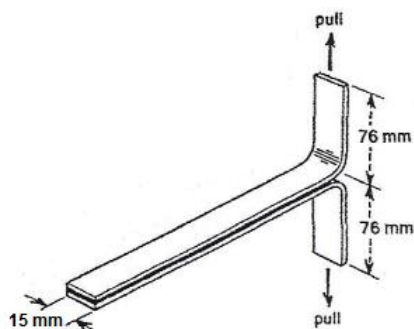


Figura 3.2. Exemplo das dimensões de uma amostra para realização do ensaio para determinação da resistência à Deslaminagem [27]

Após a preparação da amostra deve-se colocá-la e ajustá-la às garras pneumáticas pelas extremidades que foram deslaminadas. É de referir que a garra inferior ficará fixa no decorrer do teste, sendo que a garra superior é que se move. Por último, deve-se testar a amostra.

No fim do teste obtém-se o valor médio da força de laminagem em N (Average Load), assim como a força média por unidade de largura em N/mm (Average Peel). Além disso, é também fornecida a média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação (no anexo A encontra-se um exemplo deste tipo de ensaio).

3.1.2. ASTM D1894 – Ensaio de Coeficiente de atrito

Para a avaliação da influência dos vários parâmetros no COF do produto final, foi necessário recorrer novamente ao dinamómetro *Hounsfiel*. Este método permite a determinação dos coeficientes de atrito estático e cinético através do deslizamento de películas plásticas sobre si mesma ou sobre outro material, em que uma amostra permanece imóvel e a outra desliza sobre a primeira.

Neste ensaio, começou-se por recolher amostras de Polietileno (Linear, EVOH e Linear >COF) antes da complexagem, sendo realizado o ensaio de COF, e depois da complexagem para a avaliação do impacto da complexagem no coeficiente de atrito.

Depois, as amostras eram recolhidas numa fase posterior, nomeadamente, o corte, tratando-se já do produto final para a realização do ensaio, para posterior comparação dos valores do COF obtidos ao longo do processo produtivo.

Por último para o estudo da influência da temperatura e da tensão no coeficiente de atrito colocaram-se bobinas, fazendo apenas variar dois parâmetros, a tensão e a temperatura. Sendo que a temperatura na estufa era de 80°C e no laboratório era de 23°C. Depois realizaram-se ensaios para determinação do coeficiente de atrito 87 horas depois de estarem em repouso.

As amostras usadas eram duplex ou triplex e constituídas por vários filmes à semelhança dos ensaios de resistência à deslaminagem.

Todos os ensaios para determinação do coeficiente de atrito foram realizados do lado interior do polietileno, ou seja, na face não tratada que está em contacto com o produto que será embalado.

3.1.2.1. Procedimento experimental

Inicialmente deve-se proceder à montagem do dinamómetro *Hounsfiel*, colocando as peças adequadas a este tipo de ensaio de acordo com a norma, como se pode ver na figura 3.3.



Figura 3.3. Dinamómetro de *Hounsfield* com a célula de 10N montada assim como a placa metálica e o bloco metálico

Depois, deve proceder-se à preparação da amostra:

- ❖ Cortar 10 provetes (5 com as dimensões de 65x120mm e 5 com as dimensões de 130x250mm);
- ❖ Para a realização do COF filme/filme, é necessário revestir a placa metálica com a respetiva amostra (proвете 130x250mm) e revestir o bloco metálico com a outra amostra (proвете 120x120mm) colocando o último sobre a placa. Neste caso, a placa metálica é que fica fixa e o bloco é que se move. Deve-se também esticar bem os provetes para não existirem rugas.

Após se efetuar o teste, obtém-se o valor do coeficiente de atrito estático (μS) e cinético/dinâmico (μD), assim como a média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação (no anexo A encontra-se um exemplo deste tipo de ensaio).

3.2. Ensaios realizados no Espectrofotómetro de Infravermelho (IV)

O espectrofotómetro FT-IR *SPECTRUM BX* é utilizado fundamentalmente para a análise e identificação de amostras, condicionada pela base de dados criada internamente e permanentemente atualizada. Contribui como complemento no controlo das matérias-primas.

3.2.1. Identificação dos componentes dos adesivos por IV

Nesta fase do trabalho prático os ensaios foram realizados no espectrofotómetro FT-IR *SPECTRUM BX* (figura 3.4) com o objetivo de identificar os espectros dos adesivos utilizados na empresa.



Figura 3.4. Espetrofotômetro *FT-IR SPECTRUM BX*

O adesivo com solvente usado na maior parte dos trabalhos é constituído por um componente NCO (NC 270A), um componente OH (CA 12) e solvente (acetato de etilo). No anexo B encontra-se a ficha técnica do adesivo base solvente.

Relativamente ao adesivo sem solvente mais usado este é composto por um componente NCO (698A) e um componente OH (C102). No anexo B pode ver-se a ficha técnica do adesivo sem solvente.

Os componentes referidos anteriormente são misturados nas proporções referidas nas fichas técnicas e homogeneizados formando um adesivo que será utilizado para laminar vários tipos de filmes.

3.2.1.1. Procedimento experimental

Após a preparação do equipamento de acordo com o manual do mesmo recolheram-se amostras dos componentes dos adesivos assim como da própria mistura junto dos operadores das máquinas com o auxílio de frascos previamente identificados.

Para cada amostra, colocou-se uma pequena quantidade nas células de cloreto de sódio e colocaram-se as mesmas no suporte metálico e compartimento de leitura de forma a proceder-se à respetiva leitura.

Para a mistura, efetuaram-se leituras diariamente para ver qual a evolução da reticulação dos adesivos, sendo que para o adesivo sem solvente foi necessário fazer uma aplicação em dois filmes de OPP para ser possível efetuar as leituras.

3.2.2. Identificação da influência do aditivo (componente OH) nos espectros da mistura do adesivo

Esta fase teve como objetivo identificar através de espectrofotometria de infravermelho a influência da quantidade de aditivo no espectro da mistura do adesivo com e sem solvente.

Este tipo de análise é importante para se poder ver se a mistura dos componentes dos adesivos foi a correta, ou seja, nas proporções indicadas nas fichas técnicas fornecidas pelo fabricante. Assim, por comparação com a mistura correta é possível identificar possíveis erros.

3.2.2.1. Procedimento experimental

Após a preparação do equipamento de acordo com o manual recolheram-se amostras do componente NCO, OH e do solvente (acetato de etilo) no caso do adesivo com solvente.

De seguida procedeu-se à preparação das misturas que seriam posteriormente analisadas. Para o adesivo com solvente fixou-se a quantidade de acetado de etilo (50gr) e a quantidade do componente NCO (25g) e variou-se a quantidade de aditivo (0g, 1g, 3.39g, 6g e 9g). Após a adição dos componentes homogeneizou-se a mistura com o auxílio de uma vareta. Por sua vez, para o adesivo sem solvente, fixou-se a quantidade de componente NCO (12g) e variou-se a quantidade do componente OH (0g, 1g, 2g, 3g, 4g, 4,4g, 5,4g, 8,4g e 10,4g).

Por fim colocou-se uma pequena quantidade de cada amostra nas células de cloreto de sódio e colocou-se as mesmas no suporte metálico e compartimento de leitura de forma a proceder-se a respetiva leitura.

4. Resultados e discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a discussão dos mesmos de acordo com os objetivos inicialmente propostos.

Em algumas fases do trabalho experimental houve muita dificuldade em recolher amostras uma vez que em ambiente industrial existem muitas variáveis que afetam o processo, nomeadamente: o operador que afina as máquinas, tipo de tinta e gramagem, mancha de impressão, tipo de adesivo, gramagem e mistura com as proporções corretas dos componentes dos adesivos, tipo de filme e espessura, fornecedor de matérias-primas, máquina de impressão e complexagem, tempo decorrido entre a impressão e a complexagem, temperatura ambiente, presença ou não de verniz, tensão de bobinagem dada ao filme nas máquinas, etc.

Todos os fatores referidos anteriormente afetam a escolha das amostras uma vez que não existem dois trabalhos iguais. Sendo assim tentou-se eliminar o maior número de variáveis para ser possível efetuar comparações.

4.1. Estudo da reticulação dos adesivos após a complexagem

Na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis são usados vários tipos de adesivos, sendo a sua principal diferença o facto de possuírem base solvente ou não.

Através de ensaios que determinavam a força de laminagem ou resistência à deslaminagem, verificou-se que a cola designada na empresa por “EVOH” era melhor uma vez que num curto período de tempo as amostras já começavam a rasgar e já não deslaminavam. Na tabela 4.1 pode ver-se o tempo que algumas estruturas complexadas com cola “EVOH” demoraram a começar a rasgar.

Tabela 4.1. Tempo de reticulação das estruturas complexadas com cola “EVOH”

Composição do Complexo	Tipo de Adesivo “EVOH”	Força de Laminagem (N)	Tempo (horas)
PET Q 12 μ + PE EVOH Branco (BR) 10% 40 μ (1)	Sem solvente	1,414	12
PET Q 12 μ +PE EVOH Pelável Transparente (TR) 30 μ (2)	Sem solvente	2,559	22
PET Q 12 μ + PE EVOH TR 40 μ (3)	Com solvente	6,919	20
PET Q 12 μ + PE EVOH BR 5% 40 μ (4)	Sem solvente	1,971	22
PET Q 12 μ + PE EVOH Pelável TR 30 μ (5)	Sem solvente	2,804	22

Analisando a tabela 4.1 pode verificar-se que quando a cola usada é de base solvente, a força de laminagem atingida é bastante superior. Este tipo de cola possui uma força inicial (*Green tack*) elevada quando comparada com as colas sem solvente, o mesmo se verificando ao fim de algum tempo.

Na figura 4.1 pode ver-se a variação da força de laminagem em função do tempo para amostras que foram laminadas com cola “EVOH”.

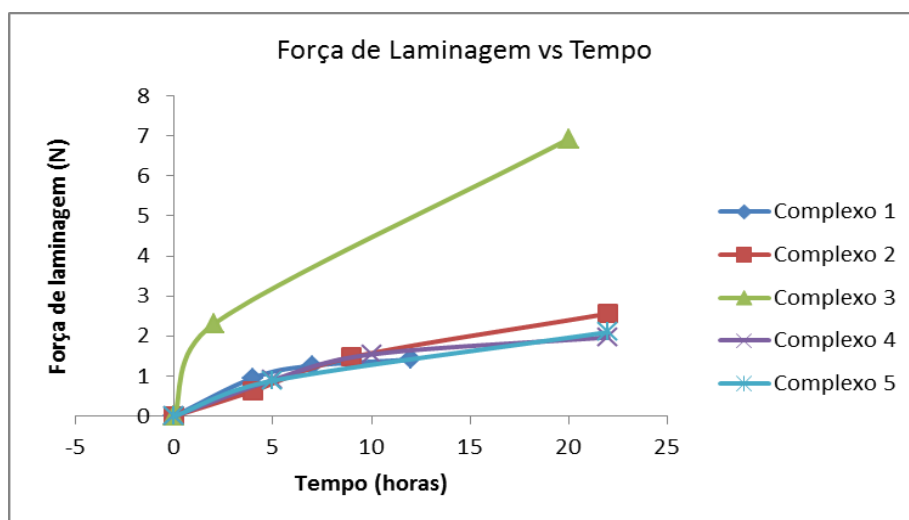


Figura 4.1. Variação da força de laminagem em função do tempo para diferentes complexos laminados com cola “EVOH”

Tendo em conta novamente o complexo 3 verifica-se que no primeiro ensaio a força de laminagem obtida já era razoável ($>2\text{N}$) quando comparada com os outros complexos em que se obteve uma força inferior ($<1\text{N}$) no primeiro ensaio.

Além disso, através da análise da figura 4.1, verifica-se que com o passar do tempo, a força de laminagem aumenta até que as amostras comecem a rasgar. Este aumento é justificado pelo tempo de cura do adesivo, ou seja, logo após a mistura dos componentes (componente NCO com o componente OH e solvente, no caso de cola com solvente), estes começam a reagir e, de acordo com as fichas técnicas, a cura do adesivo só está completa 7 a 14 dias após a laminação. Isto significa que só após algum tempo decorrida a laminação, é que se consegue atingir forças de laminagem superiores. A cura diz respeito a uma mudança nas propriedades físicas de uma resina por reação química, pela ação de um catalisador/calor e de um agente de cura. A cura gera a formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, formando uma rede tridimensional.

A cola designada por “EVOH” é usada em complexos com barreira a gases, como é o caso do PE EVOH que possui excelente barreira a gases, seguindo-se a PA com boa barreira e o PET com alguma barreira [6]. Nestes casos, como o adesivo está rodeado por barreiras a gases e como no processo de reticulação dos adesivos existe a libertação dos

mesmos, é necessário recorrer a um adesivo que não gere elevadas quantidades de gases, evitando a formação de bolhas no complexo.

Este adesivo também é adequado a outro tipo de complexos, no entanto como o seu preço é elevado não seria economicamente viável usar sempre este adesivo. Além disso, trata-se de um adesivo que em termos de processamento não é muito fácil trabalhar pois seca muito rapidamente e pode causar danos na máquina. Outra questão importante é o facto de não permitir que se trabalhe a velocidades elevadas o que não permitiria otimizar a máquina. Seria também necessário testar se este adesivo teria estes resultados com outros tipos de materiais. Sendo assim, existem outros adesivos usados na generalidade dos trabalhos, sendo mais baratos e de qualidade razoável.

4.1.1. Estudo da influência da tinta na força de laminagem

Uma questão importante no que diz respeito à força de laminagem é a presença de impressão no complexo aquando da complexagem.

As tintas que chegam à empresa provenientes dos fornecedores vêm sob a forma de um concentrado que é a base da tinta (pigmento + resina + aditivo + solvente) ao qual se adicionam os vernizes modificadores (conferem flexibilidade, adesão, brilho, etc.) e o solvente (acetato de etilo) que mantém a tinta fluida para ser impressa e dentro dos limites de viscosidade que permita a sua aplicação

Dependendo do material que vai ser impresso, existem diferentes tipos de tintas. Além disso, umas são usadas apenas para laminação e outras para impressão interior ou exterior, por isso é necessário seleccionar o tipo de tinta correto e adequado para cada situação.

A maioria dos complexos é constituída por um filme no qual é feita a impressão (interior/exterior) que é posteriormente complexado formando assim um “duplex” (complexo constituído por dois filmes) ou “triplex” (constituído por três filmes).

De acordo com fichas técnicas de alguns adesivos, a gramagem de adesivo deve ser superior nos trabalhos que possuem impresso ($1 \text{ a } 2 \text{ g/m}^2$ superior), uma vez que a aderência do adesivo aos substratos é prejudicada pela presença de tinta, sendo por isso necessária uma quantidade de adesivo superior para se obter uma boa aderência dos substratos.

Através de ensaios de resistência à deslaminagem, verificou-se que nas zonas com impressão as amostras deslaminavam durante um período de tempo maior do que nas zonas que não possuíam impressão, ou seja, demorava mais tempo a atingir-se uma maior adesão. Além disso as forças de laminagem obtidas eram maiores nas zonas sem impressão do que nas zonas que possuíam impressão.

Na tabela 4.2 seguinte, encontram-se os valores da força de laminagem obtidos para zonas sem e com tinta.

Tabela 4.2. Comparação das forças de laminagem nas zonas com e sem tinta para cada tipo complexo

Tipo de Complexo	%BR/%Cor /%Verniz	Tipo de Cola	Força de Laminagem (N)	
			Sem tinta	Com tinta
PA OPA 12 μ + PP CAST TR 25 μ	93/159/0	Sem solvente	3,376	2,450
PA OPA 15 μ + PE LINEAR TR 70 μ	129/48/0		3,644	2,368
PP OPP TR 20 μ + PP Alta velocidade BR 20 μ	95/135/0		1,763	1,463
PET C/ PVDC 12 μ + PE Pelável TR 50 μ	67/67/0		2,939	2,828
PP OPP TR 25 μ + PP OPP TR 25 μ	78/79/0		1,811	0,924
PA OPA TR 15 μ + PE LINEAR TR 40 μ	119/134/59		6,139	2,650

Como exemplo da variação da força de laminagem das zonas com e sem tinta em função do tempo, na figura 4.2 encontra-se representada a variação da força de laminagem em função do tempo para um dos complexos (PA OPA 15 μ +PE Linear TR 70 μ).

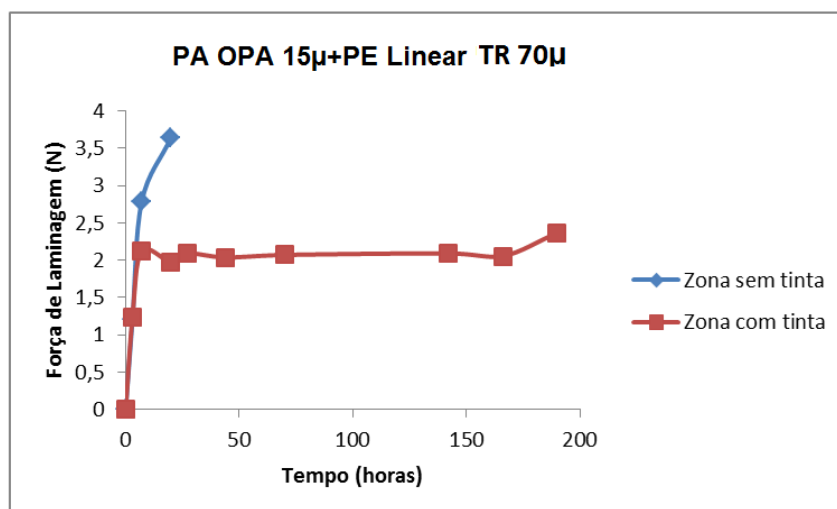


Figura 4.2. Variação da força de laminagem em função do tempo para as zonas sem tinta e com tinta da amostra

Através da análise da figura, verifica-se que as zonas com tinta continuam a deslaminar ao longo do tempo. Além disso, durante a realização dos ensaios verificou-se que a tinta era “arrancada” do filme impresso quando o filme deslaminava.

A ocorrência de deslaminagem nas zonas com impresso pode estar relacionada com vários fatores, nomeadamente:

- ❖ A falta de aderência da tinta ao filme impresso, ou seja, se a tinta não aderir bem ao filme impresso na impressão, após a complexagem será mais fácil o filme

deslaminar. Além disso, por vezes o tempo entre a impressão e a complexagem não é suficiente para que ocorra a reticulação da própria tinta e se atinja a adesão pretendida;

- ❖ Gramagem (quantidade de tinta em g/m^2) de tinta. A quantidade de tinta aplicada ao filme também é importante uma vez que quanto maior a quantidade de tinta, menor é a aderência ao filme. Isto pode ser explicado pela espessura da camada de tinta, ou seja, quanto maior a espessura, mais longe fica a camada externa da superfície do substrato, não aderindo tão bem ao mesmo e por isso é mais fácil arrancá-la do filme;
- ❖ Gramagem de adesivo. A quantidade de adesivo a aplicar depende do tipo de substratos, da quantidade de impresso e da aplicação do filme (esterilização, por exemplo). Sendo assim, a gramagem irá influenciar a deslaminagem, sendo necessário a aplicação de uma quantidade ótima e adequada a cada trabalho;
- ❖ Tratamento na superfície do filme. O tratamento superficial é um fator crucial para a aderência das tintas e dos adesivos, sendo necessário verificar se o filme possui o tratamento superficial adequado. A verificação do lado que tem tratamento é fundamental para que não se cometam erros, quer na aplicação da cola, quer na tinta;
- ❖ Possível contaminação da superfície do filme. Por vezes alguns aditivos migram para a superfície do filme onde será aplicada a tinta ou o adesivo, o que poderá prejudicar a aderência dos mesmos. O agente de deslizamento (*slip*), por exemplo, pode migrar e provocar a deslaminagem do complexo, como foi referido no capítulo 2.

4.1.2. Estudo da influência do metalizado na força de laminagem

O grande uso de metalizados em embalagens flexíveis não se deve apenas às boas propriedades barreira mas também ao seu aspeto mercadológico, tornando a embalagem mais apelativa para o consumidor. No entanto, as propriedades barreira, assim como a aparência e integridade da embalagem são comprometidas quando ocorre a deslaminagem da estrutura multicamada.

No que diz respeito ao metalizado também foram realizados ensaios para determinar a força de laminagem e verificou-se que a força de laminagem é inferior quando se verifica que o metalizado é arrancado do material. Este fenómeno acontece com bastante frequência, principalmente quando a estrutura é um triplex.

Na tabela 4.3 encontram-se os intervalos dos valores de força de laminagem obtidos.

Tabela 4.3. Valor mínimo e máximo de força de laminagem obtidos para cada tipo de estrutura com metalizado

Tipo de complexo	%BR/%Cor /%Verniz	Tipo de Adesivo	Força de Laminagem (mínima e máxima) registrada (N)
PET Q 12 μ + PP Metalizado Baixa Temperatura 20 μ	0/5/0	Sem solvente	0,8569 – 1.246
PET Q 12 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 50 μ	49/130/0	Com solvente	0,3785 – 0,4764
PET Q 19 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear>COF TR 70 μ	100/144/93	Com solvente	1,009 – 2,301
PET Q 12 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 50 μ	100/192/0	Com solvente	0,5185 – 0,8187
PET Q 19 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear>COF TR 70 μ	93/123/91	Com solvente	2,234 – 3,001
PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 50 μ	49/96/0	Com solvente	0,6906 – 3,755
PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 45 μ	63/58/0	Sem solvente	1,12 – 1,758
PP OPP TR 20 μ + PP Metalizado 20 μ	100/91/0	Sem solvente	0,8001 – 0,9139
PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 38 μ	100/40/99	Sem solvente	1,147 – 1,439
PET Q 12 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear>COF TR 75 μ	24/61/0	Com solvente	0,7196 – 9,855
PET Q 12 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear>COF TR 75 μ	40/104/0	Com solvente	1,488 – 2,528
PET Q 12 μ + PET Q Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear>COF TR 75 μ	100/76/0	Com solvente	0,1696 – 0,2849

Analisando os valores obtidos verificou-se que, quando o metalizado não era arrancado do filme metalizado, as forças de laminagem eram relativamente elevadas. No entanto, a partir do momento em que o metalizado era separado do substrato, as forças baixavam consideravelmente, atingindo valores quase nulos por vezes.

Esta separação do metalizado do filme no qual estava ancorado pode ser explicada por uma fraca adesão do metal ao filme, por um tratamento superficial inadequado ou fraco, presença de impressão, etc..

Quando se fala em filmes metalizados espera-se sempre que ocorra deslaminagem da ligação mais fraca (figura 4.3), ou seja, entre o metalizado e o material sobre o qual ocorreu a metalização. Como os filmes são complexados através da presença de um adesivo, este irá provocar forças de ligação fortes entre os filmes, principalmente quando se trata de adesivos com solvente, como é o caso da grande parte dos triplex's. Assim sendo, é natural que a ligação mais fraca acabe por ceder quando é aplicada uma força extra no complexo. Nestas situações é necessário selecionar um filme metalizado que seja mais difícil de deslaminar, ou seja, que deslamine apenas quando a força aplicada seja bastante elevada.

Não é fácil prever o que faz com que o filme deslamine com maior ou menor facilidade uma vez que os fornecedores não descrevem nas fichas técnicas o processo de metalização e o tipo de tratamento superficial da superfície do filme que será metalizada.

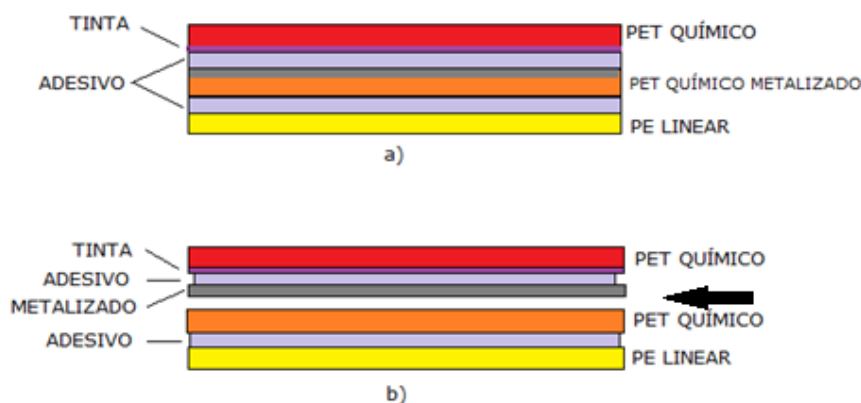


Figura 4.3. Representação de um triplex: a) Antes da deslaminagem do metalizado; b) Após a deslaminagem do metalizado

A figura anterior corresponde a um triplex em que está indicado o local em que ocorre a deslaminagem do filme.

4.2. Impacto da complexagem no COF do produto acabado

Na realização de ensaios de COF são obtidos dois valores, como foi referido no capítulo 2, o coeficiente de atrito estático (μS) e o coeficiente de atrito cinético/dinâmico (μD). O primeiro tem maior relevância quando se trata de objetos empilhados ou colocados em paletes, por sua vez o segundo tem maior importância quando se trata de filmes em bobinas.

As variações do valor do COF são alcançadas através da adição de um agente deslizante (slip) a um filme de resina durante a produção. Este slip deve ser incompatível com a resina (neste caso com a matriz de polietileno) para poder migrar para a superfície após a extrusão. A extrusão é um processo de produção de filmes e chapas, em que os grânulos de resina de plástico são sujeitos a elevadas temperaturas e pressões na

extrusora, havendo a sua fusão. Posteriormente o material plástico sai da extrusora em forma de filme ou chapa plástica com dimensões que dependem da matriz [6].

Aditivos polares podem interagir com amidas e retardar a taxa de migração para a superfície. Por outro lado, outros aditivos podem acelerar a taxa de migração à superfície, originando um excesso de *slip* na superfície do filme que por vezes também pode ser prejudicial pois pode provocar a deslaminagem dos complexos como foi explicado no capítulo 2 [25].

Além disso, existem alguns *antiblocks* que podem absorver o *slip* e aditivos migradores como os anti-estáticos ou anti-fog que podem competir com o *slip* por um espaço na superfície da película [25].

O coeficiente de atrito corresponde ao inverso do coeficiente de deslizamento e pode ser dividido em diferentes categorias de acordo com a tabela 4.4 [21].

Tabela 4.4. Categorias do coeficiente de atrito e deslizamento [22]

Categorias do COF		COF
Baixo COF	Alto deslizamento	<0,25
Médio COF	Médio deslizamento	0,25 – 0,45
Alto COF	Baixo deslizamento	>0,45

Na figura 4.4 encontra-se os valores mínimos e máximos obtidos do COF para cada tipo de polietileno, nomeadamente, PE LINEAR transparente, PE EVOH branco e transparente (polietileno com barreira pela adição de um filme de EVOH) e PE LINEAR>COF transparente (este filme possui uma menor quantidade de agente de deslizamento, ou seja, um coeficiente de atrito superior).

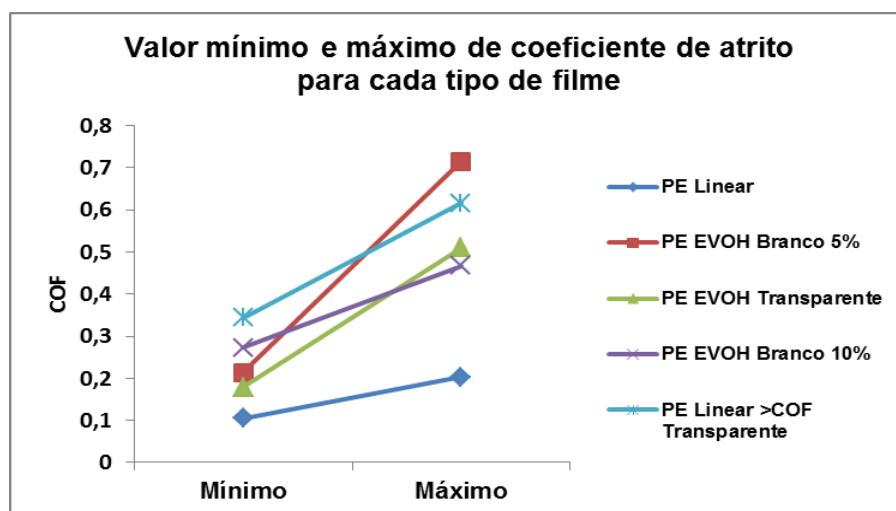


Figura 4.4. Valores mínimos e máximos de Coeficiente de Atrito obtidos experimentalmente para cada tipo de material

Através da análise dos resultados, verificou-se que o COF para o PE Linear é considerado baixo. No que diz respeito ao PE EVOH transparente e branco 5%, os valores vão de COF baixo a médio. Por sua vez, o COF do PE EVOH branco 10% apresenta valores desde COF baixo a alto. Por último, o PE LINEAR>COF apresenta valores desde médio a alto COF.

Para proceder ao estudo do impacto da complexagem no coeficiente de atrito recolheram-se amostras de polietileno antes e após a complexagem. Os valores obtidos experimentalmente encontram-se na tabela 4.5.

Tabela 4.5. Valores de coeficiente de atrito cinético antes e depois de laminar

Tipo de material complexado	Tipo de Adesivo	Tipo de material impresso	μ_D antes de complexar	μ_D depois de complexar
PE Linear>COF BR 10% 50 μ	Sem solvente	PET c/ PVDC 12 μ	0,3143	0,4025
PE Linear >COF TR 50 μ	Sem solvente	PET c/ PVDC 12 μ	0,5345	0,5416
PE Linear >COF TR 40 μ	Sem solvente	PET c/ PVDC 12 μ	0,43	0,522
PE Linear>COF BR 5% 40 μ	Sem solvente	PET c/ PVDC 12 μ	0,5486	0,5591
PE Linear >COF TR 50 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,4374	0,4505
PE Linear>COF BR 5% 50 μ	Sem solvente	PET c/ PVDC 12 μ	0,3309	0,474
PE EVOH TR 40 μ	Com solvente	PET Químico 12 μ	0,1803	0,2667
PE EVOH BR 5% 30 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,3907	0,7148
PE EVOH BR 5% 40 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,3482	0,5979
PE EVOH BR 5% 60 μ	Sem colvente	PP Mate 20 μ	0,2107	0,5093
PE EVOH BR 5% 40 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,4016	0,5453
PE EVOH BR 10% 50 μ	Sem solvente	PP Mate 30 μ	0,2887	0,2908

PE EVOH TR 40 μ	Sem solvente	PET Corona 12 μ	0,2031	0,2509
PE EVOH TR 40 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,4339	0,4951
PE EVOH TR 30 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,2713	0,3591
PE EVOH BR 5% 40 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,539	0,6313
PE EVOH TR 30 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,2275	0,3482
PE Linear TR 38 μ	Sem solvente	PET Q Metalizado D-2,2 12 μ	0,1676	0,1803
PE Linear TR 45 μ	Sem solvente	PET Q Metalizado D-2,2 12 μ	0,1159	0,1441
PE Linear TR 50 μ	Sem solvente	PA OPA 15 μ	0,1137	0,1819
PE Linear TR 38 μ	Com solvente	PP OPP 15 μ + PET Q Met. D-2,2 12 μ	0,1271	0,1448
PE Linear TR 70 μ	Sem solvente	PA OPA 15 μ	0,1569	0,2029
PE Linear TR 90 μ	Sem solvente	PA OPA 15 μ	0,1159	0,1234
PE Linear TR 40 μ	Sem solvente	PA OPA 15 μ	0,1411	0,1523
PE Linear >COF BR 5% 50 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,2986	0,2097
PE Linear >COF TR 50 μ	Sem solvente	PA OPA 15 μ	0,6157	0,4652
PE EVOH BR 10% 40 μ	Sem solvente	PP MATE 30 μ	0,3961	0,3725
PE EVOH TR 50 μ	Sem solvente	PET Químico 12 μ	0,163	0,1529
PE EVOH BR 10% 40 μ	Sem solvente	PP MATE 20 μ	0,4665	0,418

Na figura 4.5 encontram-se os resultados estatísticos dos ensaios para avaliar o impacto da complexagem no valor do coeficiente de atrito dinâmico.

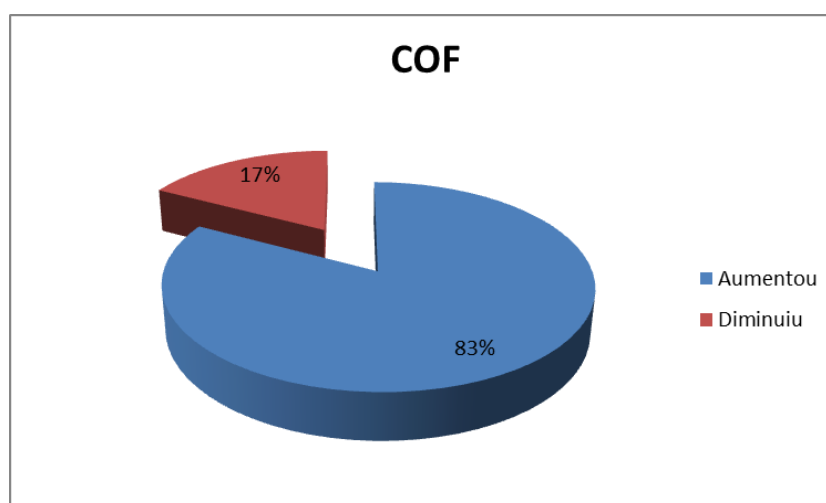


Figura 4.5. Representação estatística do impacto da complexagem no coeficiente de atrito

Através da figura 4.5 verifica-se que em 83% dos ensaios realizados o valor do COF aumentou após a complexagem e em 17% o valor diminuiu.

O *slip* não é só afetado pelos aditivos referidos (*antiblocks*, anti-fog, anti-estáticos) mas também por processos a jusante, como é o caso da complexagem, que muda a polaridade do filme e atrai o *slip* para o interior, diminuindo a quantidade de *slip* que estaria na superfície.

No que diz respeito aos restantes 17% é difícil prever o porquê de não seguirem a mesma tendência uma vez que, como já foi referido, existem muitas variáveis no processo que são difíceis de determinar e identificar.

Nos dias de hoje existem várias opções de slips que mantêm um COF constante antes e após a complexagem, no entanto são mais caros que os tradicionais. Sendo assim, é necessário perceber se realmente é necessário optar por um *slip* especial e mais caro para o valor do COF não ser alterado pela complexagem. Também é necessário salientar que em algumas situações o aumento do COF não foi muito significativo após a complexagem.

Apesar do *slip* ser afetado por vários fatores, ao longo do tempo o seu valor tende para um valor constante como se pode ver na figura 4.6 a variação do valor do COF para vários complexos.

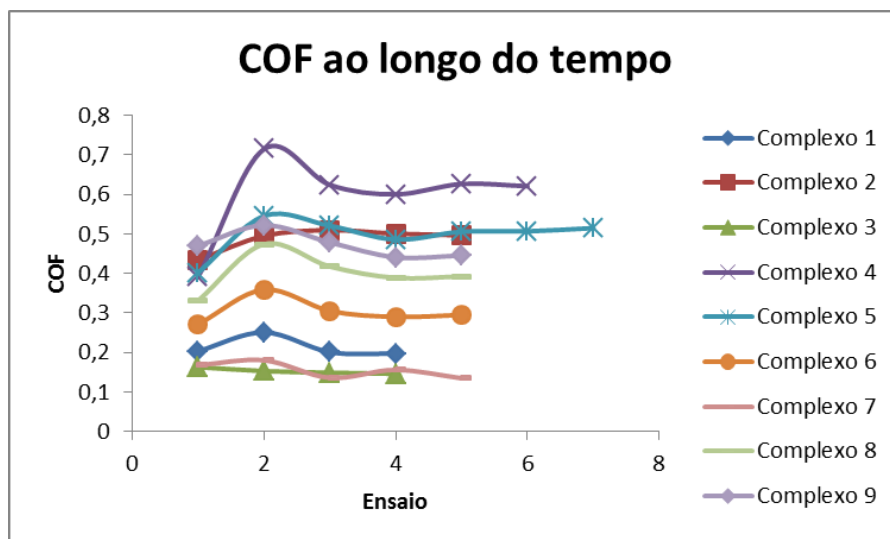


Figura 4.6. Variação do valor do COF ao longo do tempo

4.2.1. Influência das tintas no Coeficiente de Atrito

Outro objetivo proposto inicialmente foi o estudo da influência da tinta no coeficiente de atrito. Neste caso as amostras selecionadas possuíam zonas com tinta e sem tinta, por isso tinham exatamente as mesmas características, sendo a única variável a presença de tinta.

Na tabela 4.6 encontram-se os valores do coeficiente de atrito cinético obtidos para as zonas sem tinta e com tinta de acordo com a estrutura do complexo.

Tabela 4.6. Valores de COF cinético para as zonas sem e com tinta de acordo com o tipo de estrutura

Tipo de estrutura	%BR/%Cor /%Verniz	Tipo de adesivo	μ_D sem tinta	μ_D com tinta
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 30 μ	47/57/0	Sem solvente	0,2513	0,2627
PP MATE 30 μ + PE EVOH BR 5% 30 μ	0/63/0	Sem solvente	0,2023	0,2136
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 60 μ	60/45/0	Sem solvente	0,1439	0,1569
PET Químico 12 μ + PE Linear TR 70 μ	72/65/0	Sem solvente	0,1292	0,1478
PP OPP TR 20 μ + PP Cast TR 30 μ	47/68/0	Sem solvente	0,1128	0,1170
PA OPA 15 μ + PE Linear TR 70 μ	129/48/0	Com solvente	0,1063	0,1407
PA OPA 15 μ + PE Linear TR 70 μ	126/46/0	Com solvente	0,1295	0,1455
PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 50 μ	64/58/0	Sem solvente	0,1289	0,2918
PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 45 μ	67/65/0	Sem solvente	0,1349	0,1369
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 50 μ	50/86/0	Com solvente	0,1292	0,1471
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 40 μ	55/55/0	Sem solvente	0,2381	0,2446
PP OPP TR 20 μ + PP OPP TR 20 μ	52/72/0	Sem solvente	0,2155	0,2163
PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 45 μ	63/58/0	Sem solvente	0,1412	0,1419
PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 50 μ	60/60/0	Sem solvente	0,1717	0,1931
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 30 μ	51/40/0	Sem solvente	0,2991	0,3307
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 30 μ	124/39/62	Sem solvente	0,3885	0,3895
PA OPA 15 μ + PE Linear TR 70 μ	126/45/0	Com solvente	0,1116	0,1217
PA OPA 15 μ + PE Linear TR 40 μ	93/58/44	Sem solvente	0,1304	0,1809

Através da análise da tabela 4.6 pode verificar-se que nas zonas com tinta o valor do COF é maior do que nas zonas sem tinta.

Quando o filme está a ser processado na máquina está sujeito a várias tensões de bobinagem aplicadas pelos rolos. Nas zonas com tinta a tensão de bobinagem é superior à das zonas sem tinta. Isso acontece pois a espessura do filme nessas zonas é superior e como a tensão ao longo da largura do filme é sempre a mesma, nas zonas com uma maior espessura é normal que a tensão acabe por ser superior. Na figura 4.7 pode ver-se um complexo composto por dois substratos, tinta de impressão e adesivo [30].

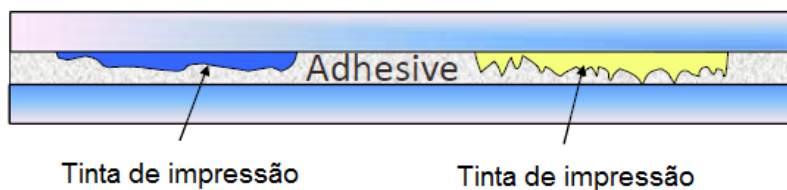


Figura 4.7. Complexo composto por dois substratos, tinta de impressão e adesivo [28]

Nos valores obtidos na tabela 4.6 nem sempre a variação do coeficiente de atrito das zonas com tinta para as zonas sem tinta é muito significativa. Esta variação poderá ter origem nas diferentes tensões de bobinagem aplicadas ao filme, ou seja, uma maior variação do COF pode resultar de uma maior tensão e vice-versa. No entanto como se tratam de amostras que foram processadas há algum tempo não é possível saber ao certo qual a tensão de bobinagem a que o filme foi sujeito. Apenas seria possível saber qual a tensão aplicada aquando do processo de fabrico. Mais à frente será explicada a influência da tensão de bobinagem no valor do coeficiente de atrito.

4.2.2. Influência do verniz mate no Coeficiente de Atrito

O verniz mate é usado como acabamento nos filmes, ou seja, após a aplicação das tintas é aplicado o verniz mate, para conferir esse efeito sem brilho aos filmes.

O efeito brilhante é conseguido quando o ângulo dos raios de luz que incidem é igual ao ângulo de refração dos mesmos. No entanto, para obter o efeito mate é necessário adicionar sílica que irá formar micro rugosidades sobre a superfície dos filmes fazendo com que os ângulos de refração dos raios de luz sejam diferentes dos ângulos de incidência, originando o efeito de perda de brilho.

Para a realização deste estudo recolheram-se amostras de filmes com e sem verniz e realizaram-se ensaios para determinar o coeficiente de atrito, no entanto foi difícil encontrar muitas amostras com características semelhantes em que apenas variasse a presença de verniz mate. Na tabela 4.7 encontram-se os valores obtidos para o coeficiente de atrito.

Tabela 4.7. Influência do verniz no coeficiente de atrito

Tipo de complexo	Tipo de Adesivo	μ_D sem verniz	μ_D com verniz
PET Químico 12 μ +PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ +PE Linear>COF TR 75 μ	Com solvente	0,1864	0,1936
PET Químico 12 μ +PE Linear>COF BR 5% 50 μ	Sem solvente	0,3488	0,4803
PET Químico 12 μ +PE Linear>COF TR 50 μ	Sem solvente	0,3819	0,3969
PET Químico 12 μ +PE EVOH BR 5% 30 μ	Com solvente	0,6260	0,6642
		0,5668	
PA OPA 15 μ +PE EVOH TR 50 μ	Com solvente	0,1980	0,2148
			0,2041
PET Químico 12 μ +PE EVOH TR 50 μ	Com solvente	0,1958	0,2156
			0,2016
PET Químico 12 μ +PE EVOH TR 50 μ	Com solvente	0,2412	0,2700
			0,3398
PET Químico 12 μ +PE EVOH BR 5% 40 μ	Sem solvente	0,4778	0,5343
		0,4792	0,4933
		0,4696	0,5300
PET Químico 12 μ +PE EVOH BR 5% 40 μ	Com solvente	0,3411	0,4519
		0,3397	0,4477
		0,3450	
PET Químico 12 μ +PE EVOH TR 50 μ	Sem solvente	0,2597	0,3241
		0,2223	0,3408

Através da análise da tabela 4.7 pode verificar-se que os valores de coeficiente de atrito obtidos são superiores para as amostras que possuíam verniz.

Uma justificação poderá estar relacionada com a contaminação da superfície interna do polietileno quando o filme está bobinado, uma vez que a superfície externa na qual é aplicado o verniz mate vai estar em contacto com a superfície interna do complexo. Esta contaminação da superfície pela presença do verniz mate vai fazer com que o verniz absorva o *slip* e por isso aumentar o valor do COF.

Outra questão que poderia estar na origem do aumento do valor do coeficiente de atrito diz respeito à alteração da rugosidade da superfície quando a superfície interior do complexo é contaminada pelo verniz mate. Esta questão deveria ser estudada de forma a perceber se a contaminação da superfície pelo verniz seria suficiente para alterar a rugosidade da superfície de tal forma que altere o valor do COF.

4.2.3. Influência da espessura do PE no Coeficiente de Atrito

Para além dos diferentes tipos de polietileno com características diferentes que são usados na complexagem, as suas espessuras também os tornam diferentes uns dos outros sendo escolhidas de acordo com a aplicação. Na tabela 4.8 encontra-se representada a variação do coeficiente de atrito de acordo com a espessura de polietileno para cada tipo de estrutura.

Tabela 4.8. Variação do coeficiente de atrito de acordo com a espessura do PE

Tipo de estrutura	Espessura do Polietileno (μ)							
	30	38	40	50	60	65	70	90
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	0,2570	---	0,2469	0,2269	---	---	---	---
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	---	---	0,3274	0,2124	0,1732	---	---	---
PA OPA 15 μ + PE LINEAR TR	---	---	0,2560	0,1734	---	---	---	---
PA OPA 15 μ + PE LINEAR TR	---	---	0,2440	---	---	0,1808	0,1547	---
PA OPA 15 μ + PE LINEAR TR	---	0,3975	0,3438	---	0,3154	---	0,1887	0,1530
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	0,2952	---	---	0,1913	---	---	---	---
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	---	---	0,3370	---	0,3124	---	---	---
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	---	---	0,3274	0,2117	0,1754	---	---	---
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	---	---	0,2921	---	0,2093	---	---	---
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR	---	---	0,2361	0,2326	0,1845	---	---	---
PET Químico + PE EVOH TR	0,2627	---	0,2136	0,2034	0,1569	---	---	---

Observando a tabela 4.7 pode ver-se que quanto maior a espessura do polietileno, menor é o valor do coeficiente de atrito cinético.

É difícil encontrar uma explicação para esta variação uma vez que não se sabe qual é a quantidade nem a concentração de *slip* na superfície do polietileno. No entanto, pode pensar-se que uma maior espessura funcionará como uma melhor barreira à migração do *slip* para o interior do complexo, ou seja, a elevada espessura poderá impedir que uma

maior quantidade de *slip* migre pois terá de percorrer uma maior distância sendo por isso mais difícil fazê-lo.

Além disso, teoricamente os filmes mais espessos precisam de níveis de dosagem de *slip* inferiores e, por sua vez, os filmes mais finos exigem concentrações mais elevadas de deslizamento para atingir um determinado COF. Mas, como o volume dos filmes mais espessos é superior ao dos filmes mais finos, uma vez que para a mesma área, uma maior espessura vai traduzir-se num volume maior, a quantidade de *slip* que acabará por atingir a superfície do filme será sempre maior do que nos filmes mais espessos relativamente aos mais finos. Na figura 4.8 pode ver-se a variação do COF em função da espessura do filme [14].

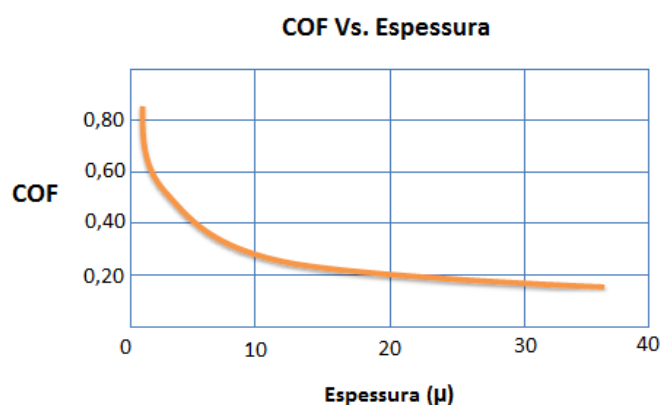


Figura 4.8. Variação do COF em função do aumento da espessura do filme [14]

Sendo assim, independentemente dos fatores que estejam a interferir com o complexo, os filmes mais espessos vão ter sempre valores de COF mais baixos uma vez que na sua produção se adicionam maiores quantidades de *slip* inevitavelmente devido ao seu maior volume.

4.2.4. Influência do tipo de filme impresso no coeficiente de atrito

Existem vários tipos de filmes que são impressos, nomeadamente, OPP, OPA, PET Químico/Corona, PET c/ PVDC, PP Mate, etc.. Estes filmes possuem tensões superficiais diferentes como foi descrito no capítulo 2.

Nesta fase do trabalho tentou-se recolher amostras do mesmo material complexado variando o tipo de filme impresso, no entanto foi bastante difícil encontrar amostras pois para o mesmo tipo de filme que vai complexar, o tipo de filme impresso que é utilizado é quase sempre o mesmo.

Na tabela 4.9 encontram-se os resultados obtidos para o estudo da influência do tipo de filme impresso no COF.

Tabela 4.9. Valores de COF obtidos para cada tipo de filme impresso

Tipo de Filme que vai complexar	Tipo de material impresso						
	PP OPP	PA OPA	PET c/ PVDC	PP REV. ACR/PVDC	PET Químico	PET Corona	PP Mate
PE LINEAR TR 40 μ	---	0,1905	0,2276	---	---	---	---
PE LINEAR TR 40 μ	---	0,2199	0,3734	---	---	---	---
PE LINEAR TR 50 μ	---	0,2212	0,2645	0,2308	0,2440	---	---
PE EVOH TR 50 μ	---	0,2237	---	---	0,2507	---	---
PE EVOH TR 40 μ	0,342	---	---	---	0,4967	0,5536	0,4825

Através da análise da tabela 4.9 pode verificar-se que os valores mais elevados de coeficiente de atrito correspondem aos materiais que possuíam PET como filme impresso, sendo o valor do PET Corona o que se destaca mais. Por sua vez, o OPP na situação do PE EVOH TR 40 μ é o que apresenta um valor mais baixo quando comparado com os outros valores. O PP Mate, como possui tratamento superficial mate, confere ao material um COF maior do que o OPP como já vimos anteriormente na influência do verniz.

Relativamente às poliamidas, os valores obtidos, quando comparada com os outros filmes impressos, são mais baixos. No entanto este material não foi comparado com o OPP, por exemplo, não sendo por isso possível afirmar se teria um coeficiente de atrito superior ou inferior.

Teoricamente, o substrato que possui maior polaridade, dos usados na empresa, é o PET, seguindo-se a poliamida. No que diz respeito ao PP, trata-se de um substrato apolar. Assim sendo, é natural que o PET atraia mais o *slip* e o PP menos.

É necessário referir que é difícil tirar conclusões com um número de resultados tão pequeno. Seria necessário ter amostras para cada tipo de material impresso para se poder fazer um estudo mais rigoroso.

4.3. Impacto do tipo de Complexadora (com ou sem solvente) no COF final

Já foi estudada a influência da complexagem no coeficiente de atrito, mas no que diz respeito aos adesivos existem os que possuem base solvente e sem solvente como já foi referido no capítulo 2. Os diferentes tipos de adesivos poderão influenciar o valor do COF de formas diferentes. Na tabela 4.10 pode ver-se os resultados obtidos do COF para amostras complexadas com e sem solvente de acordo com o tipo de estrutura.

Tabela 4.10. Impacto do tipo de adesivo (com e sem solvente) no valor do COF de acordo com o tipo de estrutura

Tipo de estrutura	%BR/%Cor /%Verniz	μ_D sem solvente	μ_D com solvente
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 30 μ	44/31/0	0,3307	0,3220
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 50 μ	85/170/0	0,2759	0,2526
		0,3218	
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 40 μ	5/5/0	0,2145	0,3272
PET Químico 12 μ + PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear >COF TR 75 μ	24/61	0,1675	0,2718
PET Químico 12 μ + AL Natural 9 μ + PE Linear TR 65 μ	100/128/0	0,1386	0,1274
		0,1456	
PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ +PE Linear>COF TR 75 μ	100/125/0	0,1553	0,2592
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 30 μ	0/5/0	0,4095	0,2584
		0,3083	
PET Químico 12 μ + AL Natural 9 μ + PE Linear TR 110 μ	5/108/0	0,1106	0,1117
PET Químico 12 μ + AL Natural 9 μ + PE Linear TR 105 μ	5/94/0	0,1637	0,1230
PA OPA 15 μ + PE Linear L50G50 TR 70 μ	89/64/0	0,1517	0,1471
PET Químico 12 μ + AL Natural 9 μ + PE Linear TR 100 μ	0/5/0	0,1302	0,1118
PET Químico 12 μ + PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear >COF TR 75 μ	49/104/0	0,4048	0,2547
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 60 μ	60/45/0	0,1568	0,2760
PET Químico 12 μ + PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear >COF TR 75 μ	93/123/91	0,2107	0,2943
PET Químico 12 μ + PET Químico Metalizado D-2,2 12 μ + PE Linear TR 50 μ	100/132/97	0,1328	0,1673
PET Químico 12 μ + PE EVOH BR 5% 40 μ	0/101/95	0,4662	0,4183
		0,3917	0,4801
PA OPA 15 μ + PE Linear TR 70 μ	129/48/0	0,1442	0,1278
		0,1508	0,1420
PET Químico 12 μ + PE EVOH BR 5% 40 μ	0/83/0	0,5347	0,4575
		0,5473	0,3550
		0,5618	0,3329
		0,4539	0,4248
PET Químico 12 μ + PE EVOH TR 50	73/49/0	0,1997	0,1812
			0,1767
		0,1992	0,2055
			0,2038

Na figura 4.9 encontra-se a análise estatística do impacto do tipo de cola no valor do coeficiente de atrito.

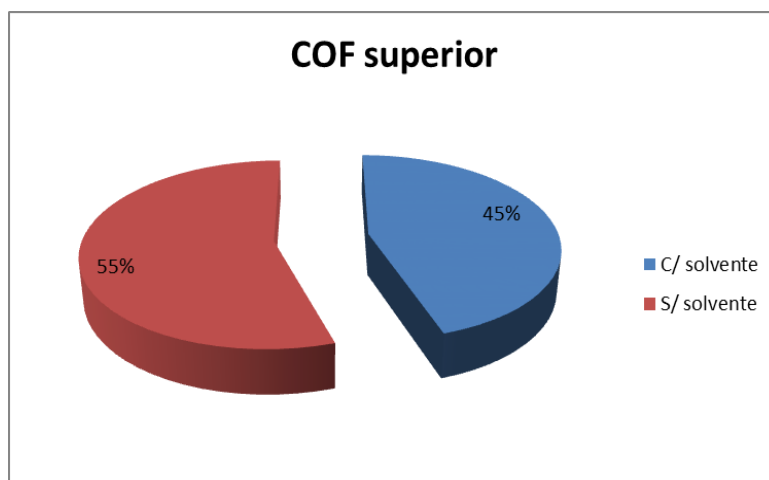


Figura 4.9. Representação estatística do impacto do tipo de adesivo no coeficiente de atrito

Através da figura 4.9 pode ver-se que em 55% dos ensaios o coeficiente de atrito do adesivo sem solvente foi superior, ao contrário de 45% dos ensaios em que o coeficiente de atrito do adesivo com solvente foi superior. Com estes resultados não é possível concluir qual o tipo de adesivo que tem maior impacto no COF uma vez que a diferença foi de apenas 5%.

É claro que para se fazer este estudo seria necessário recolher amostras com as mesmas características em que variasse apenas o tipo de adesivo usado logo após a complexagem. No entanto, tal não foi possível porque a produção seria afetada e poder-se-ia ter de desperdiçar material.

Sendo assim, as amostras recolhidas são o mais semelhante possível e foram recolhidas do arquivo tendo sido processadas, algumas delas, há uns meses atrás. O fator tempo poderá influenciar o COF pois como já foi referido o *slip* migra ao longo do tempo. Tendo em conta esses pontos limitativos, os resultados obtidos não nos permitem tirar conclusões exatas.

4.4. Influência da temperatura e da tensão de enrolamento no COF

Para o estudo da influência da temperatura colocaram-se bobinas com as mesmas características (tabela 4.11) em ambientes com temperaturas diferentes, nomeadamente a estufa da máquina de complexagem C2 (80°C) e o laboratório que estava a uma temperatura média de 23°C.

Tabela 4.11. Características do material das bobinas usadas

Tipo de estrutura	%BR/%COR	Tipo de adesivo
PET c/ PVDC 12 μ + PE LINEAR TR 55 μ	51/57	Sem solvente

Na tabela 4.12 encontram-se os valores de Coeficiente de Atrito cinético para a temperatura de 23°C e 80°C.

Tabela 4.12. Influência da temperatura no Coeficiente de Atrito cinético

	Temperatura	
	23°C	80°C
	0,1864	0,6951
μ	0,1757	0,6644

Através da análise da tabela anterior, pode verificar-se que a temperatura influencia o COF, ou seja, favorece o seu aumento, principalmente nas zonas que possuem tinta, como se pode ver na tabela 4.13.

Tabela 4.13. Influência da temperatura nas zonas com tinta e sem tinta

	Temperatura de 23°C		Temperatura de 80°C	
	Zona Sem tinta	Zona Com Tinta	Zona Sem tinta	Zona Com Tinta
	0,1679	0,2144	0,2983	0,6588
μ	0,2018	0,2206	0,3182	0,6393

Através da análise da tabela pode verificar-se que para a temperatura de 80°C existe uma diferença mais significativa no valor do coeficiente de atrito entre as zonas com e sem tinta.

Elevadas temperaturas provocam um relaxamento do polímero e provocam o aumento do movimento das moléculas. Além disso, a expansão térmica resulta no aumento dos espaços vazios entre as moléculas, o que poderá facilitar a migração do *slip* para o interior do polímero, aumentando o valor do coeficiente de atrito à superfície.

É de salientar que a temperatura de 80°C é muito elevada e, normalmente, os filmes não estão sujeitos a temperaturas tão elevadas.

Depois voltou-se a colocar bobinas com características diferentes (tabela 4.14) das anteriores em três ambientes diferentes, nomeadamente, a estufa da máquina C2 (80°C), o frigorífico (7°C) e o laboratório (25°C).

Tabela 4.14. Características do material das bobinas usadas

Tipo de estrutura	%BR/%COR	Tipo de adesivo
PET Q 12 μ + PE EVOH TR 50 μ	42/79	Com solvente

Na tabela 4.15 pode ver-se os resultados obtidos de coeficiente de atrito de acordo com as diferentes temperaturas (25, 7 e 80°C).

Tabela 4.15. Coeficiente de atrito estático para as diferentes temperaturas

μ	T=25°C		T=7°C		T=80°C	
	Sem tinta	Com tinta	Sem tinta	Com tinta	Sem tinta	Com tinta
	0,3200	0,3966	1,243	1,436	0,9326	0,9807

Através da análise da tabela 4.15 pode ver-se que tanto temperaturas muito elevadas como temperaturas muito baixas influenciam o valor do COF, fazendo com que o seu valor aumente, destacando-se o valor correspondente à temperatura de 7°C. Por vezes, os clientes colocam as bobinas em ambientes com temperaturas muito baixas e têm problemas com o coeficiente de atrito. Isto acontece porque o *slip* congela e não contribui para o deslizamento do filme. Para combater esta situação estão a estudar-se alternativas para poder controlar melhor o valor do COF. Essa alternativa passa pelo uso de polietilenos com COF permanente (varia entre 0,1 e 0,2) onde se consegue manter o valor do coeficiente de atrito independentemente dos fatores externos.

Além disso, mais uma vez é possível constatar que a tinta contribui para um aumento do valor do coeficiente de atrito.

Também se procedeu ao estudo da influência da tensão de enrolamento dos filmes aquando da fase do corte das bobinas. Sendo assim, pediu-se aos operadores das máquinas que dessem tensões diferentes às bobinas, nomeadamente, 1,1 bar, 1,2 bar, 2,2 bar e 2,48 bar.

Nas tabelas 4.16 e 4.17 encontram-se representados os valores do coeficiente de atrito para a temperatura de 23°C e 80°C respetivamente (bobina com características de acordo com a tabela 4.9). Para cada bobina foram retiradas amostras do meio da bobina e da superfície exterior, ou seja, amostras mais junto ao mandril (maior tensão) e mais afastadas do mesmo (menor tensão).

Tabela 4.16. Influência da tensão de enrolamento no coeficiente de atrito para a temperatura de 23°C

Temperatura de 23°C								
Tensão=1,1 bar			Tensão=1,2 bar		Tensão=2,2 bar		Tensão=2,48 bar	
	Superfície	Meio	Superfície	Meio	Superfície	Meio	Superfície	Meio
μ	0,1592	0,1751	0,1757	0,1864	0,1604	0,1801	0,1493	0,1857

Tabela 4.17. Influência da tensão de enrolamento no coeficiente de atrito para a temperatura de 80°C

Temperatura de 80°C				
Tensão=1,2 bar			Tensão=2,48 bar	
	Superfície	Meio	Superfície	Meio
μ	0,6644	0,6951	0,6650	0,756

Observando as tabelas 4.16 e 4.17 verifica-se que os valores de coeficiente de atrito aumentam da superfície para o meio da bobina, onde o filme está sujeito a uma maior tensão de bobinagem. Relativamente às tensões de enrolamento a que as bobinas foram sujeitas na máquina de corte, em algumas situações verificou-se que com o aumento da tensão o coeficiente de atrito também aumentou, mas isso nem sempre se verificou.

As amostras que foram sujeitas a uma maior tensão de enrolamento possuem valores de COF mais elevados uma vez que a tensão favorece a migração do *slip* em direção ao adesivo. Além disso, favorece também a perda de *slip* através do contacto da superfície interna com a externa quando o filme está bobinado, sendo esta a principal razão para a perda do *slip*.

Outra questão está relacionada com a taxa de migração para a superfície, ou seja, quando os filmes estão bobinados a taxa de migração para a superfície é mais lenta e vice-versa.

Também se tentou realizar ensaios para estudar a influência da tensão de enrolamento para as bobinas com as características da tabela 4.14 mas o coeficiente de atrito era tão elevado no meio da bobina que nem sequer foi possível realizar o ensaio com o dinamómetro.

Deveriam ter sido feitos mais ensaios com outras tensões, outros materiais e outras temperaturas, no entanto, ter-se-ia de desperdiçar algum material e em ambiente industrial os fatores económicos são prioritários.

4.5. Identificação dos espectros dos componentes dos adesivos

4.5.1. Adesivo sem solvente

O adesivo sem solvente é apenas constituído por um componente OH (CA-102) e um componente NCO (698A). Inicialmente recolheram-se amostras de cada componente separadamente procedendo-se às leituras dos espectros.

Na figura 4.10 pode ver-se o espectro obtido correspondente ao componente OH do adesivo sem solvente.

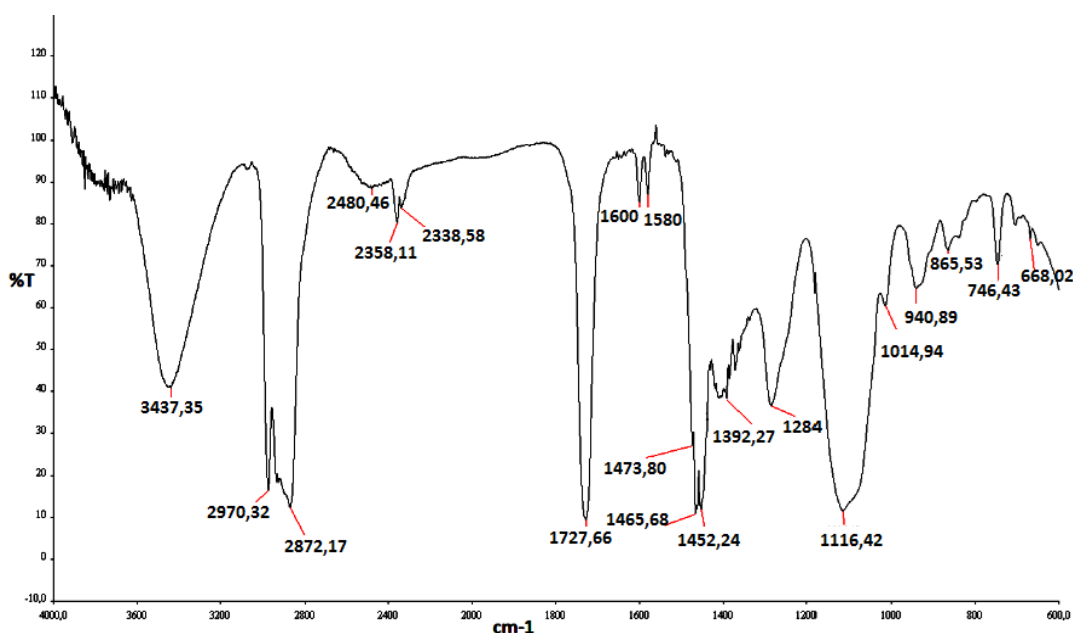


Figura 4.10. Espectro do componente OH do adesivo sem solvente

Através da análise do espectro é possível identificar os grupos funcionais do componente. Este apresenta bandas de absorção correspondentes à $\nu(\text{O-H})$ com uma frequência de $3437,35 \text{ cm}^{-1}$ e $\nu(\text{C=O})$ com uma frequência de $1727,66 \text{ cm}^{-1}$. Estes grupos funcionais levam a crer que se trata de um poliol poliéster. Este espectro apresenta também bandas correspondentes ao C-H, nomeadamente, estiramento (ν) assimétrico e simétrico ($2970,32 \text{ cm}^{-1}$ e $2872,17 \text{ cm}^{-1}$), deformação angular (δ) tipo tesoura ($1465,68 \text{ cm}^{-1}$) e deformação angular assimétrica e simétrica ($1452,24 \text{ cm}^{-1}$ e $1392,27 \text{ cm}^{-1}$).

Relativamente ao componente NCO pode ver-se na figura 4.11 o espectro correspondente.

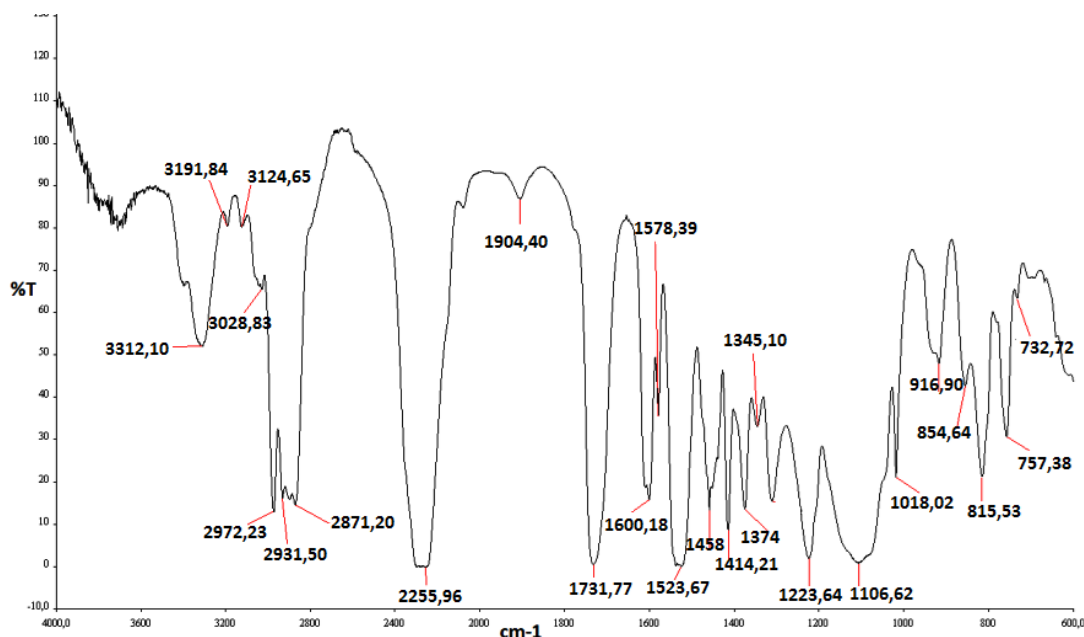


Figura 4.11. Espectro do componente NCO do adesivo sem solvente

Pela análise do espectro correspondente ao componente NCO consegue-se identificar os grupos funcionais característicos, nomeadamente, a banda de absorção correspondentes à $\nu(\text{N-H})$ com uma frequência de $3312,10 \text{ cm}^{-1}$, $\nu(\text{N=C=O})$ a $2255,96 \text{ cm}^{-1}$ e $\nu(\text{C=O})$ a $1731,77 \text{ cm}^{-1}$. Além disso, também se observa a presença de um anel aromático que corresponde à $\nu(\text{C=C})$ com uma frequência de $757,38 \text{ cm}^{-1}$. Sendo assim, pode concluir-se que se trata de um isocianato aromático.

Neste espectro também estão presentes as bandas correspondentes às ligações C-H, nomeadamente o estiramento assimétrico e simétrico ($2972,23 \text{ cm}^{-1}$ e $2871,20 \text{ cm}^{-1}$), deformação angular assimétrica e simétrica ($1458,21 \text{ cm}^{-1}$ e $1374,00 \text{ cm}^{-1}$)

No que diz respeito à mistura dos componentes, recolheu-se uma amostra da mistura diretamente do aplicador de cola da máquina C4.

Este tipo de adesivo possui um *pot-life* muito inferior ao dos adesivos com solvente (12 horas de acordo com a ficha técnica), sendo de apenas 30 minutos. Por isso, não foi possível proceder à leitura da mistura diretamente. Sendo assim, procurou-se uma alternativa que passou pela aplicação manual do adesivo num filme de OPP, ou seja, espalhou-se manualmente a mistura no filme e colou-se a outro material igual, procedendo-se às leituras do complexo e não apenas do adesivo. Na figura 4.12 encontra-se o espectro dos resultados obtidos.

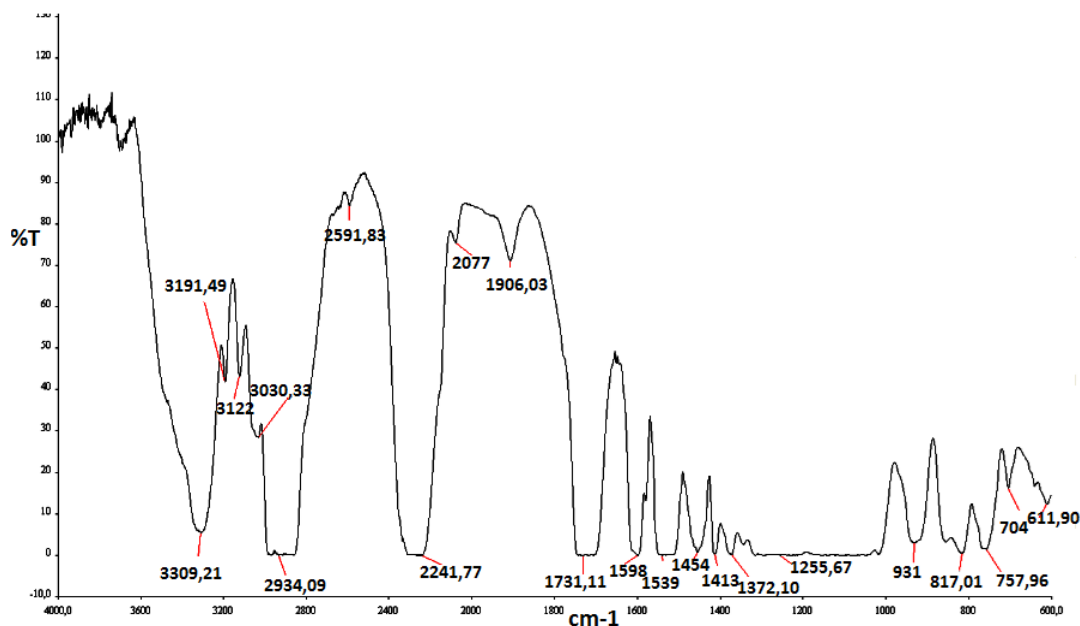


Figura 4.12. Espectro do adesivo sem solvente e do filme de OPP (Dia 1)

Através da análise da figura pode-se identificar os grupos funcionais principais de um adesivo de poliuretano, nomeadamente o pico de absorção da $\nu(\text{N-H})$ na frequência de $3309,21 \text{ cm}^{-1}$, $\nu(\text{N=C=O})$ a $2241,77 \text{ cm}^{-1}$, $\nu(\text{C=O})$ a $1731,11 \text{ cm}^{-1}$ e $\nu(\text{NHC=O})$ a $1539,00 \text{ cm}^{-1}$. Também deveria aparecer o pico corresponde à ligação **O-H** mas como o feixe do espectrofotômetro do laboratório da empresa está com alguns problemas, esse pico nem sempre foi visível. Como da mistura de um isocianato aromático com um poliol poliéster resulta a formação de poliuretano aromático no espectro pode ver-se um pico na frequência de $757,96 \text{ cm}^{-1}$ que corresponde ao anel aromático. Por último, pode observar-se o estiramento assimétrico da ligação C-H ($2934,09 \text{ cm}^{-1}$), a deformação angular assimétrica e simétrica da ligação C-H ($1454,00 \text{ cm}^{-1}$ e $1372,10 \text{ cm}^{-1}$ respetivamente).

Com o intuito de estudar a reticulação dos adesivos efetuaram-se leituras ao longo do tempo. Na figura 4.13 encontra-se o espectro correspondente ao adesivo sem solvente no dia 10.

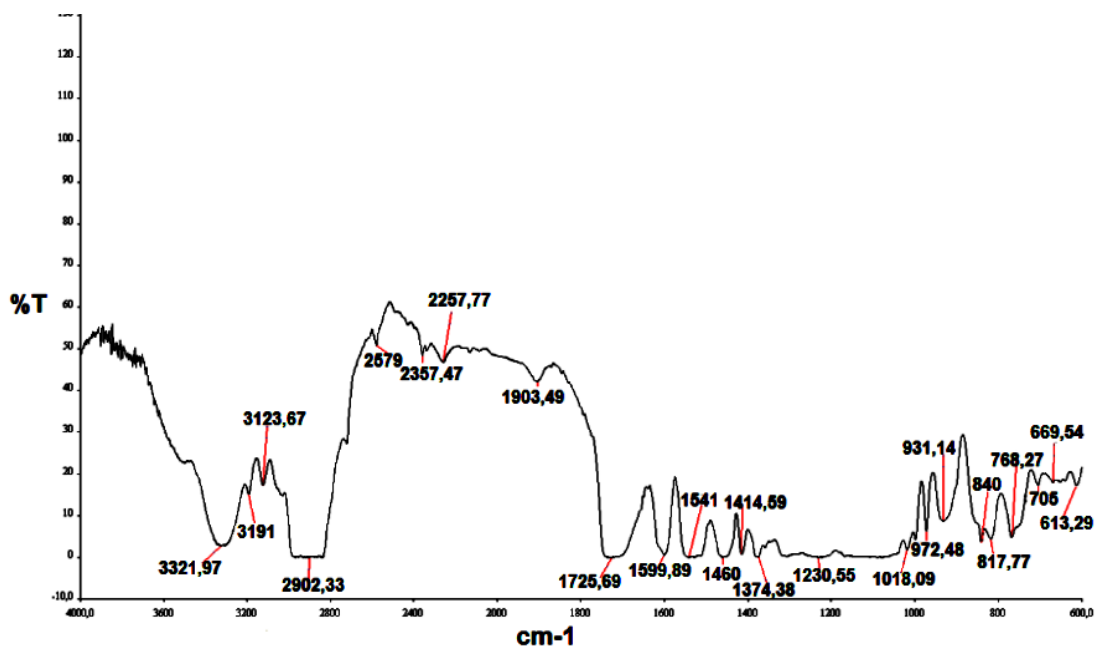


Figura 4.13. Espectro do adesivo sem solvente e do filme de OPP (Dia 10)

Os grupos funcionais característicos dizem respeito à banda de absorção correspondente à $\nu(\text{NH})$ ($3321,97 \text{ cm}^{-1}$), $\nu(\text{C=O})$ ($1725,69 \text{ cm}^{-1}$) e $\nu(\text{NHC=O})$ ($1541,00 \text{ cm}^{-1}$). Além disso, possui também uma deformação angular correspondente ao pico $768,27 \text{ cm}^{-1}$ que diz respeito ao anel aromático. Relativamente às bandas correspondentes à ligação CH, pode observar-se o estiramento assimétrico ($2902,33 \text{ cm}^{-1}$) e a deformação angular assimétrica e simétrica ($1460,00$ e $1374,38 \text{ cm}^{-1}$).

Para o acompanhamento do processo de reticulação do adesivo ao longo do tempo, colocou-se no mesmo gráfico todos os espectros correspondentes a cada dia, como se pode ver na figura 4.14.

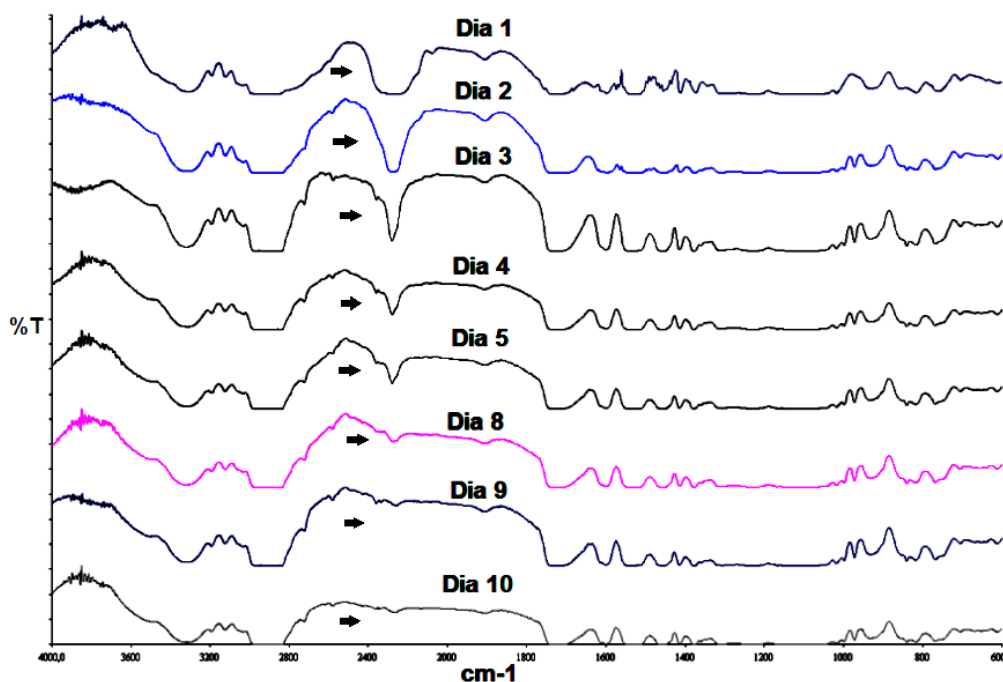


Figura 4.14. Evolução dos espectros do adesivo sem solvente ao longo do tempo

Através da análise da figura pode verificar-se que à medida que o tempo passa a extensão do pico correspondente à ligação NCO vai diminuindo. Este pico corresponde a uma frequência de $2241,77\text{ cm}^{-1}$ aproximadamente, que corresponde ao grupo funcional $\text{N}=\text{C}=\text{O}$. Como foi descrito no capítulo 2, quando os componentes de um adesivo de poliuretano são misturados, a reação ocorre numa adição à dupla ligação $\text{C}=\text{N}$ pelo ataque de um centro nucleófilo que possua hidrogénio ativo, para que o átomo de hidrogénio seja adicionado ao azoto. Sendo assim, é esperado que no processo de reticulação do adesivo a ligação $\text{C}=\text{N}$ do $\text{N}=\text{C}=\text{O}$ seja quebrada, daí o pico correspondente a este grupo funcional diminuir e no fim desaparecer mesmo. De acordo com a ficha técnica deste adesivo o tempo de cura é de 10 dias após a mistura, o que realmente foi comprovado uma vez que ao fim dos 10 dias o pico já tinha desaparecido.

4.5.2. Adesivo com solvente

No que diz respeito ao adesivo com solvente efetuou-se a leitura de cada um dos componentes, nomeadamente, o componente OH (CA-12) e NCO (NC270A). Na figura 4.15 pode ver-se o espectro correspondente ao componente OH.

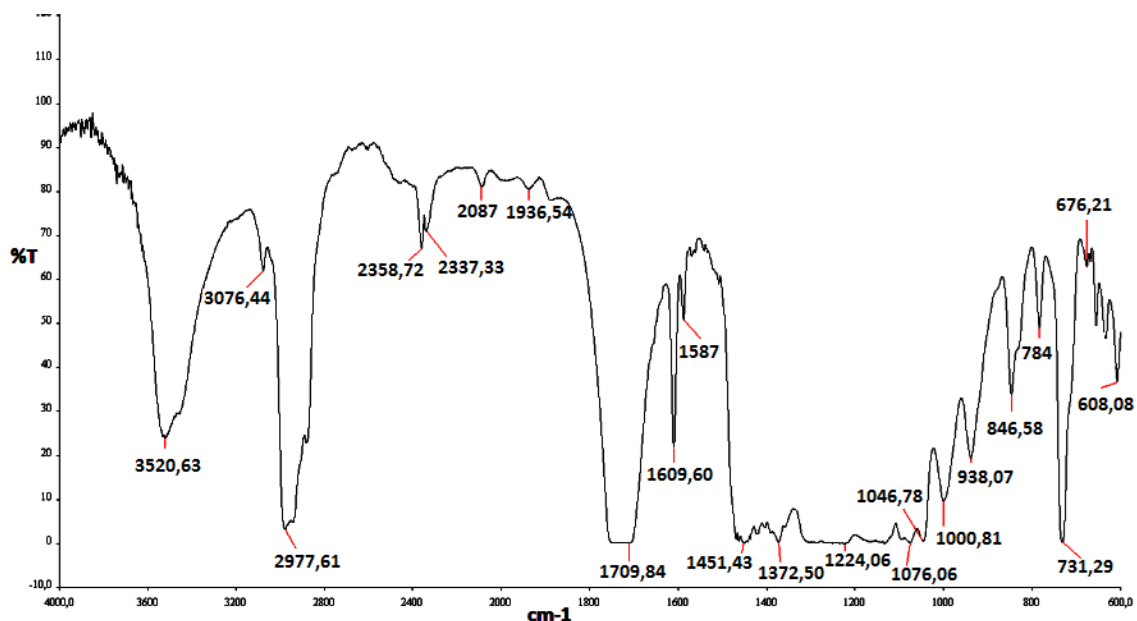


Figura 4.15. Espectro do componente OH do adesivo com solvente

Os grupos funcionais são os mesmos do componente OH do adesivo sem solvente. Pode ver-se a banda de absorção correspondente à $\nu(\text{OH})$ (3520,63 cm^{-1}) e $\nu(\text{C=O})$ (1709,84 cm^{-1}). Também se pode ver a banda correspondente ao estiramento assimétrico da ligação C-H (2977,61 cm^{-1}) e a deformação angular assimétrica e simétrica da ligação C-H (1451,43 e 1372,50 cm^{-1} , respetivamente).

Neste espectro é de salientar a presença de um pico correspondente à frequência de 731,29 cm^{-1} . Este pico é característico dos compostos aromáticos e surge aqui de uma forma bastante acentuada. Como se trata de um componente para um adesivo base solvente este poderá apresentar características de um composto aromático, no entanto como as informações das fichas técnicas são bastante gerais, não é possível afirmar com certeza qual a composição deste componente.

Na figura 4.16 pode ver-se o espectro correspondente ao componente NCO.

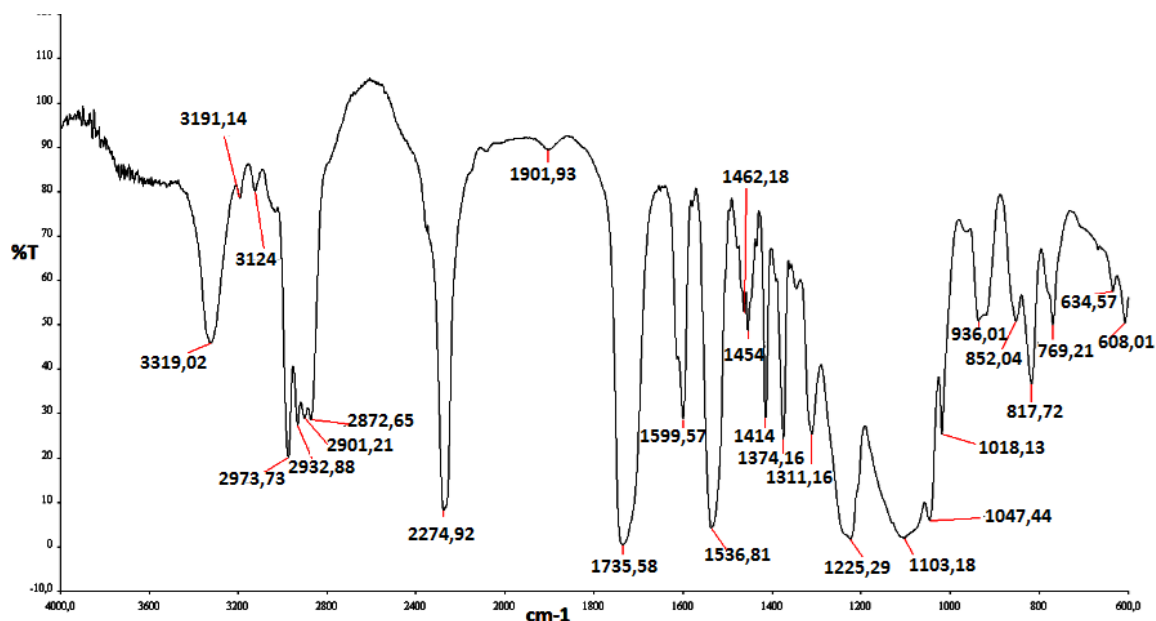


Figura 4.16. Espectro do componente NCO do adesivo com solvente

Os grupos funcionais característicos deste componente dizem respeito ao pico com a frequência de 3319,02 cm⁻¹ que corresponde à $\nu(\text{NH})$. Por sua vez, o pico correspondente à frequência 2274,92 cm⁻¹ diz respeito à $\nu(\text{N}=\text{C}=\text{O})$ e a frequência 1735,58 cm⁻¹ corresponde à $\nu(\text{C}=\text{O})$. Além disso, este espectro possui a banda de estiramento assimétrico e simétrico da ligação CH (2973,02 e 2872,65 cm⁻¹, respetivamente) e as bandas de deformação angular assimétrica e simétrica (1454,00 e 1374,16 cm⁻¹, respetivamente). Por último na frequência de 769,21 cm⁻¹ pode ver-se o pico correspondente ao anel aromático (C=C).

Também se efetuou a leitura da mistura dos dois componentes e do solvente (cola com solvente) ao longo do tempo (figura 4.17).

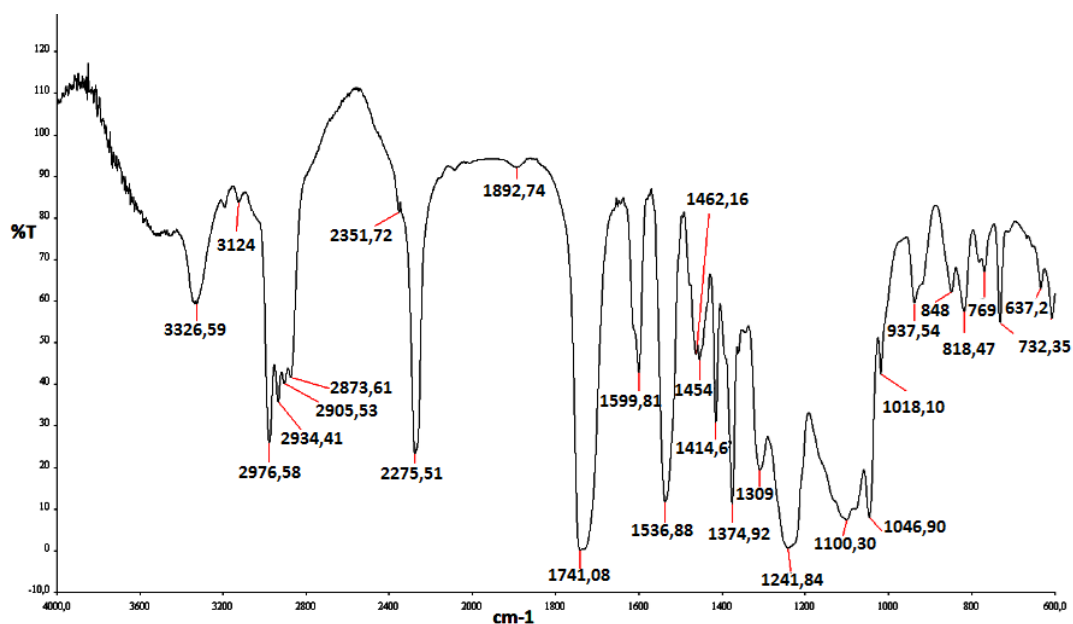


Figura 4.17. Espectro do adesivo com solvente dia 1 (NC270A+CA12+solvente)

Através da análise do espectro consegue-se identificar os picos característicos, nomeadamente, a vibração de estiramento de **N-H** responsável pela banda de absorção com frequência de $3326,59\text{ cm}^{-1}$, depois a frequência de $2275,51\text{ cm}^{-1}$ que corresponde à vibração de estiramento do **NCO**, a frequência de $1741,08\text{ cm}^{-1}$ que corresponde à vibração de estiramento **C=O** e a ligação **NHC=O** que corresponde à frequência de $1536,88\text{ cm}^{-1}$. Neste espectro ainda deveria ser visível a banda correspondente à ligação OH.

A banda correspondente à frequência $732,35\text{ cm}^{-1}$ corresponde a uma deformação angular do anel aromático.

Na figura 4.18 pode ver-se o espectro da mistura com solvente no dia 4.

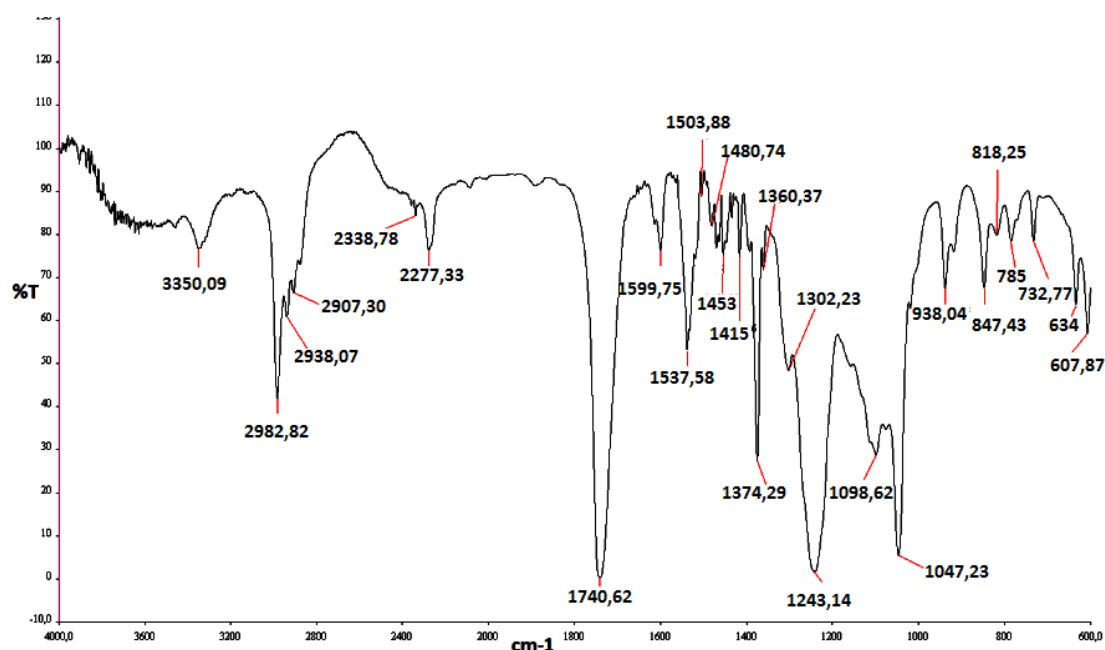


Figura 4.18. Espectro do adesivo com solvente dia 4 (NC270A+CA12+solvente)

Os picos obtidos neste espectro são semelhantes aos do dia 1, a extensão de alguns picos é que é diferente. Além disso, neste espectro a banda correspondente à ligação OH já não deve aparecer.

Para analisar a reticulação dos adesivos procedeu-se à leitura da mesma amostra da mistura ao longo do tempo. Na figura 4.19 pode ver-se em termos comparativos os resultados obtidos.

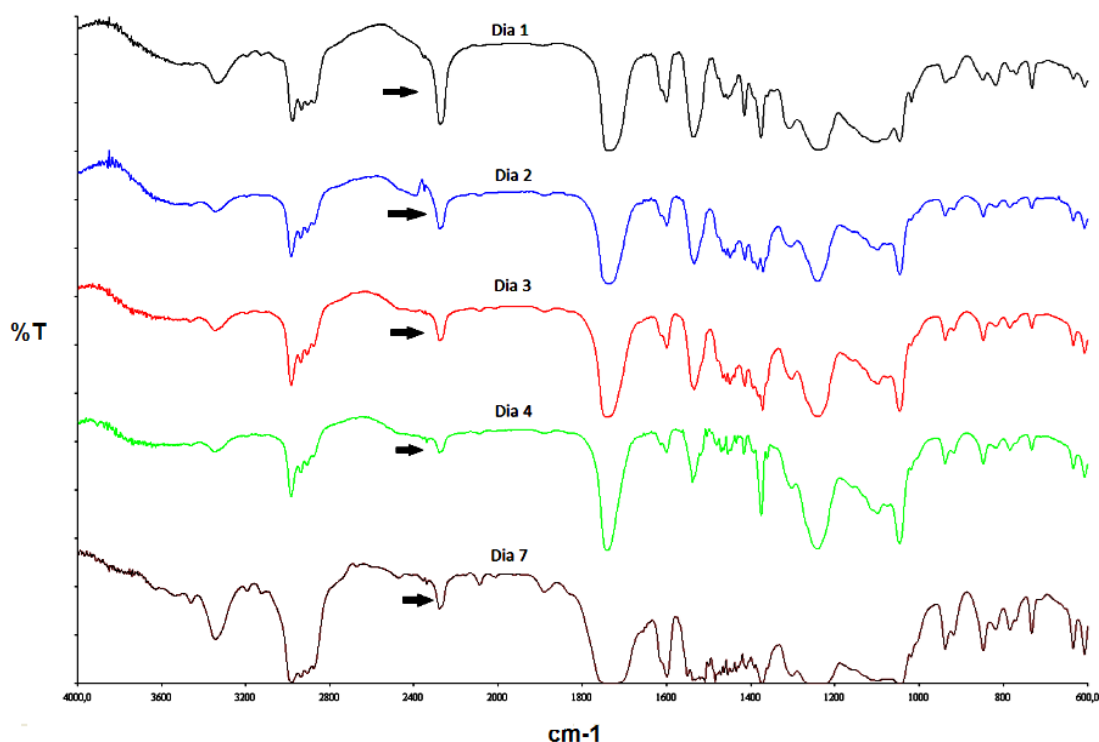


Figura 4.19. Evolução dos espectros do adesivo com solvente ao longo do tempo

Através da análise da figura 4.19 pode verificar-se que, do dia 1 até ao dia 4, a extensão da banda assinalada na figura por uma seta vai diminuindo, à semelhança do que se verificou no adesivo sem solvente.

No dia 7 verificou-se um aumento da extensão dos picos, não sendo realizadas mais leituras a partir desse dia. Este aumento da extensão dos picos é justificado pelo aumento da concentração da mistura, uma vez que o solvente que mantinha a mistura com baixa viscosidade evaporou e, por isso, a mistura ficou mais concentrada e viscosa.

O *pot-life* deste tipo de adesivo é de 12 horas (de acordo com a ficha técnica) o que permite uma utilização da mistura por um longo período de tempo após a mistura. Isto acontece por causa da presença do solvente que baixa a viscosidade. Mas, mesmo assim, ao fim de algum tempo, o solvente evapora e a viscosidade aumenta, não sendo possível trabalhar com a mistura.

4.5.3. Estudo da variação dos espectros das misturas dos adesivos de acordo com a quantidade de aditivo (componente OH)

Este estudo teve como objetivo permitir que fosse possível verificar se as misturas dos componentes dos adesivos foi feita de nas proporções corretas.

Assim, procedeu-se à preparação de várias amostras com quantidade fixa do componente NCO e quantidade variável do aditivo. É de salientar que a quantidade que o aditivo deve ter corresponde aos 4,4 g. Na figura 4.20 pode ver-se os resultados obtidos.

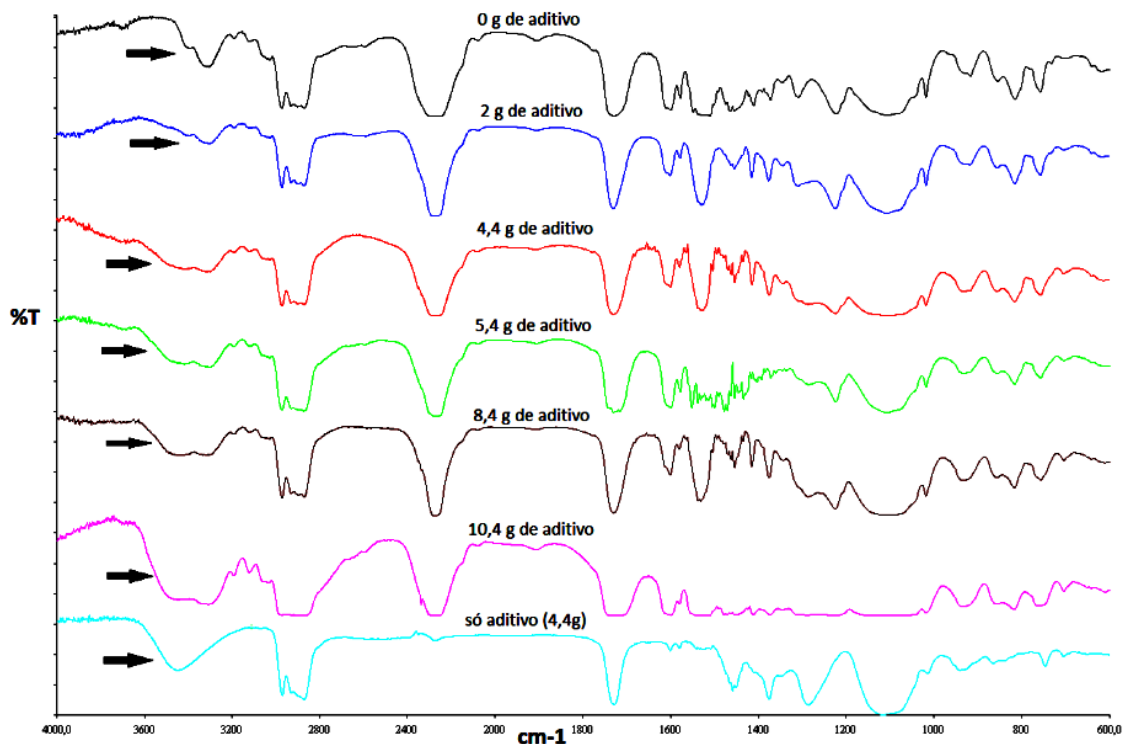


Figura 4.20. Espectros da mistura do adesivo sem solvente para diferentes quantidades de aditivo

Através da análise da figura pode ver-se que quanto maior a quantidade de aditivo, mais larga e acentuada é a bande de absorção correspondente à vibração da ligação OH. Esta variação já era esperada uma vez que o grupo OH é característico dos álcoois. Por isso, é normal que quanto maior seja a quantidade do componente OH, mais intensa seja a banda de absorção correspondente.

Relativamente ao adesivo com solvente também se estudou a influência da quantidade de aditivo como se pode ver na figura 4.21.

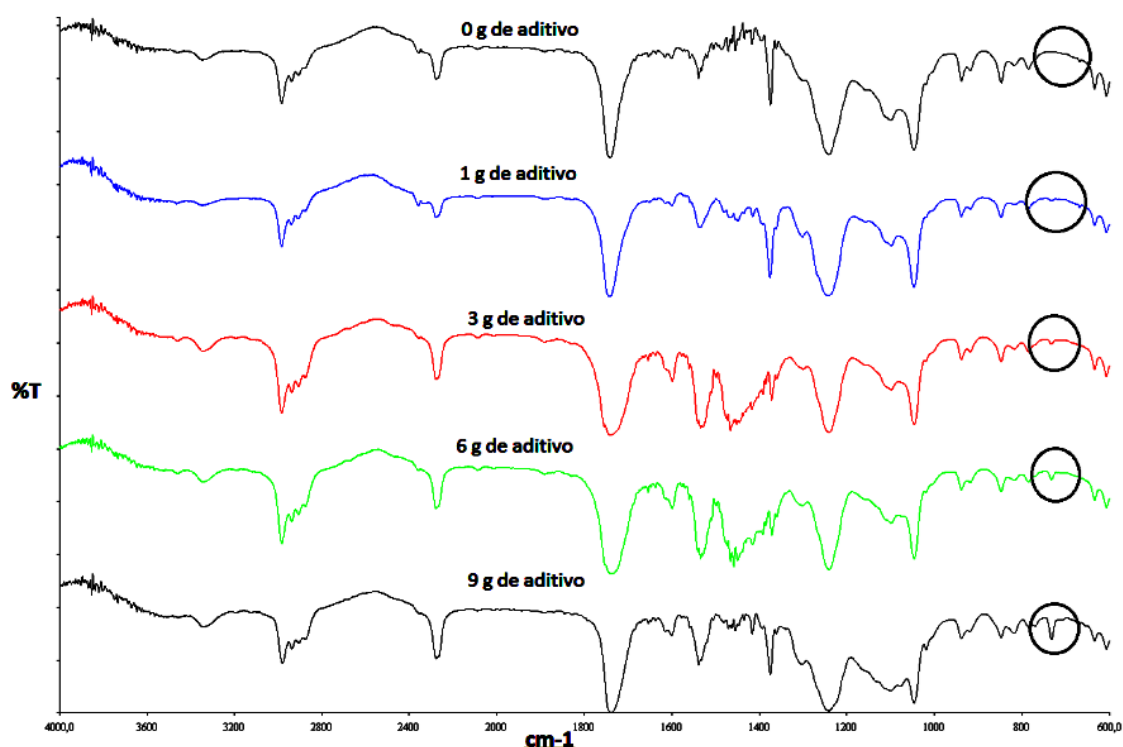


Figura 4.21. Espectros da mistura do adesivo com solvente para diferentes quantidades de aditivo

Através da análise da figura pode ver-se que à medida que a quantidade de aditivo aumenta, o pico correspondente à frequência de $732,35\text{ cm}^{-1}$ também aumenta. Já na análise do espectro do componente OH do adesivo com solvente verificou-se que o pico correspondente a esta frequência se evidenciava e aqui pode ver-se que realmente o pico do anel aromático é influenciado pela presença do aditivo. Além disso, a banda de absorção correspondente à vibração da ligação OH também deveria aparecer mais evidenciada no entanto como já foi referido o feixe do espectrofotómetro não permite uma leitura muito rigorosa naquela zona do espectro.

5. Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros

Após a realização do trabalho na empresa Monteiro, Ribas – Embalagens Flexíveis, foi possível perceber o quão difícil é chegar ao produto final, neste caso à embalagem flexível. São muitas as etapas pelas quais o produto tem que passar até que chegue ao mercado com as características e o aspeto pretendido e por vezes o consumidor não dá o devido valor.

As embalagens flexíveis têm de possuir determinadas propriedades de forma a proteger o produto, para isso é necessário selecionar os materiais mais adequados. Como um só material não permite satisfazer todos os requisitos, a complexagem surge como forma de “adicionar” propriedades às embalagens.

Todas as etapas, nomeadamente a impressão, complexagem e corte são importantes e devem ser controladas rigorosamente, por isso estudos que possam ajudar a perceber como os materiais se comportam em diversas situações são uma mais-valia para se poder melhorar. No entanto, em ambiente industrial existem muitas variáveis que afetam o processo sendo impossível controlá-las a todas. Além disso, na indústria existem outras prioridades como a produção, otimização e os prazos de entrega dificultam a realização de estudos científicos.

Relativamente ao trabalho experimental, concluiu-se que a tinta e os metalizados afetam negativamente a força de laminação dos complexos uma vez que são arrancados do filme fazendo com que o filme deslamine.

No que diz respeito ao coeficiente de atrito, este aumenta na presença de tinta, verniz mate e dos adesivos. Além disso, a temperatura (muito alta ou muito baixa) e a tensão de bobinagem também conduzem a um aumento do valor do COF. Outra conclusão foi que espessuras de polietileno superiores traduzem-se em coeficientes de atrito mais baixos, ou seja, em maior deslizamento e certos tipos de filmes impressos atraem mais o slip como é o caso do PET, pois trata-se de um filme com uma polaridade superior. Por último, no que diz respeito ao impacto do tipo de adesivo, com ou sem solvente, não foi possível chegar a nenhuma conclusão uma vez que 55% das amostras mostraram que o COF é superior nas amostras complexadas com adesivo sem solvente e 45% mostraram que o adesivo com solvente é que provocava um aumento do valor do COF.

Através dos espectros do Infravermelho foi possível perceber o processo de reticulação dos adesivos com e sem solvente. Estes mostraram que ao longo do tempo de cura ocorre uma diminuição da extensão do pico correspondente à vibração da ligação $N=C=O$. Este tipo de análise pode ser útil para análise de filme onde tenha havido deslaminagem para a verificação de erro na mistura dos adesivos.

Sugestões para trabalhos futuros:

Além dos estudos que foram realizados nesta dissertação existiam outros que também possuem alguma relevância, nomeadamente:

- ❖ Estudar a influência do anti-fog no coeficiente de atrito, uma vez que teoricamente o agente anti-fog poderá “competir” com o *slip* por um espaço na superfície do filme;
- ❖ Estudar a influência dos tratamentos superficiais no coeficiente de atrito;
- ❖ Estudar a influência da barreira EVOH no coeficiente de atrito;
- ❖ Fazer um estudo da quantidade ótima de adesivo para cada tipo de estrutura, no entanto para isso seria necessário parar a produção e gastar algum material;
- ❖ Estudar a influência da complexagem com e sem solvente na força de laminagem dos triplex's;
- ❖ Para se poder fazer mais estudos e testar novos produtos poderia ser interessante existir no laboratório um aplicador de cola à escala laboratorial;

Bibliografia

- [1] Monteiro Ribas. *Monteiro Ribas*. <http://www.mri.pt/index.php> (acedido em 10 de Fevereiro de 2013).
- [2] De acordo com o Guia de Acolhimento da Monteiro Ribas.
- [3] De acordo com informação fornecida pela Monteiro Ribas.
- [4] Yoshimoto, Fernanda Tomiko. 2010. *Embalagens Flexíveis PET+PE com impressão flexográfica e solda tipo stand'up pouch*. Graduação no curso de Tecnólogo em Produção de Plástico. Faculdade de Tecnologias da Zona Leste. 82pp
- [5] Crippa, Agnaldo. 2006. *Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas*. Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Paraná. 151pp
- [6] Poças, Maria de Fátima; Selbourne, Maria do Céu; Delgado, Telma. *Capítulo IV – Embalagens Plásticas*. Escola Tecnológica de Gestão Industrial. (versão PDF do documento descarregada em 4 de Março de 2013)
- [7] Petrie, Edward M.. *The Forces Involved with Adhesion*. 17 de Setembro de 2008. <http://www.omnexus4adhesives.com/services/articles.aspx?id=1330>. (acedido a 29 de Junho de 2013).
- [8] Silva, Bianca Bairros Rabello, 2006. *Desenvolvimento de Adesivos de Poliuretano à Base de Óleo de Mamona*. Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 84pp
- [9] Marques, Jeanne Letícia da Silva. 2009. *Desenvolvimento de Adesivos Nanocompósitos de Poliuretano à Base de Óleo de Mamona*. Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [10] Petrie, Edward M.. *Laminating Adhesives for Flexible Packaging*. 5 De Setembro, 2006. <http://www.omnexus4adhesives.com/services/articles.aspx?id=635#>. (acedido a 25 de Maio de 2013).
- [11] Petrie, Edward M.. *Adhesive Bonding of Polypropylene*. 28 De Junho, 2013. <http://www.omnexus4adhesives.com/services/articles.aspx?id=6653&lr=bib1307171&li=50017179>. (acedido a 29 de Junho de 2013).
- [12] *Solid surface energy data (SFE) for common polymers*. 20 de Novembro, 2007. <http://www.surface-tension.de/solid-surface-energy.htm>. (acedido a 15 de Junho de 2013).
- [13] VETAPHONE Corona-Plus. *Why Corona Treatment*. Denmark. (versão PDF do documento descarregada em 11 de Abril de 2013).
- [14] Wolf, Rory. *Ink Adhesion Issues*. Enercon Industries Corporation. (versão PDF do documento descarregada em 25 de Abril de 2013).

- [15] Sabreen, Scott. *Science for Solving Plastics Adhesion Problems*. 12 de Abril de 2013. <http://www.omnexus4adhesives.com/services/articles.aspx?id=3833>. (acedido a 29 de Junho de 2013).
- [16] Witmann, Giselen Cristina. *Tratamento Superficial de filmes plásticos*. 23 de Dezembro de 2010. <http://www.revistatecnologiagrafica.com>. (acedido a 12 de Junho de 2013).
- [17] Pacheco, Marcos Fernando Molon. 2006. *Síntese e Caracterização de Elastómeros Microcelulares de Poliuretano*. Caxias do Sul, Universidade de Caxias do Sul. (versão PDF do documento descarregada em 23 de Fevereiro de 2013).
- [18] De acordo com informação cedida pelo fornecedor de cola Coim.
- [19] Cheruvathur, John Rijosh, 2009. *The effect of Bond Strength of Flexible Laminates on Puncture Resistance*. Tese de Mestrado em Ciências das Embalagens. Universidade Clemson. 129pp.
- [20] Flair Flexible Packaging Corporation. *Coefficiente of Friction (COF)*. 2011. [http://www.flairpackaging.com/pages/packaging_materials_for_medical_nonfood_products/resources/packaging101_med/Coefficient%20of%20Friction%20\(COF\)/2](http://www.flairpackaging.com/pages/packaging_materials_for_medical_nonfood_products/resources/packaging101_med/Coefficient%20of%20Friction%20(COF)/2). (acedido a 29 de Maio de 2013).
- [21] Smithers. *Coefficiente of Friction (COF) / Slip Coefficient testing*. <https://www.smitherspira.com/testing/material-properties/paper/coefficient-of-friction-cof-slip-coefficient-testing.aspx>. (acedido a 29 de Maio de 2013).
- [22] Garland, Greg. Julho de 2008. *The Film & Coating Connetion*. Chevron Phillips Chemical Company LP. (versão PDF do documento descarregada em 29 de Maio de 2013)
- [23] *Slip Additives*. Ampacet Managing the Elements of Success. (versão PDF do documento descarregada em 11 de Junho de 2013).
- [24] *Slip Agent Masterbatch*. Coreia do Sul: Samacni. (versão PDF do documento descarregada em 11 de Junho de 2013).
- [25] Markarian, Jennifer, 2007. *Slip and antiblock additives: surfasse medication for film and sheet*. *Plastics, Additives & Compounding*, 9 (6): 32–35.
- [26] Piringer, O.-G.et Baner, A.L., 2000. *Plastics Packaging Materials for Food*. WILEY-VCH
- [27] De acordo com a norma ASTM D1876 – 08 “Standard Test Method Peel Resistance Of Adhesives (T – Peel Test)”.
- [28] Lindqwist, Lowel, Eklund, Wayne. 2012. *Adhesives and Key Essentials for Laminating Biopolymer Films into Flexible Packaging*. H.B. Fuller Company. (versão PDF do documento descarregada em 17 de Fevereiro de 2013).

Anexos

Anexo A - Exemplos de ensaios

MONTEIRO, RIBAS - EMBALAGENS FLEXÍVEIS

Configuracao da Primeira Pagina

Produto : ENSAIO_DESLAMINAGEM
 Cliente : SEC SNC
 O.F. : 239896
 Descrição do Produto : PET QUI+PET QUI METALIZADO
 Operador : VÂNIA
 Data : 17-04-2013
 Temperatura (°C) : 24
 Humidade relativa (%) : 50

Ajustes da Maquina

Load Range : 500.0 N
 Extension Range : 10.000 mm
 Speed : 254.0 mm/min
 Preload : 0.0100 N
 Auto Return : ON

Comentarios

16H
 DUPLEX. O METALIZADO PRATICAMENTE
 NÃO MIGROU

Resultados do Teste [ASD1-876] ASTM D 1876 Peel Resistance 'T-Peel' [Xhd]

Amostra Nº.	Width mm	Min.Load N	Ave.Load N	Max.Load N	Ave.Peel N/mm	Attributes
1	15.00	1.315	1.624	1.865	0.1082	-
2	15.00	1.035	1.455	1.650	0.0970	-
3	15.00	1.185	1.538	1.765	0.1025	-
4	15.00	1.215	1.557	1.750	0.1038	-
Media		1.188	1.543	1.757	0.1029	
Desv. Pad.		0.1159	0.0694	0.0880	0.0046	
Gama		0.2800	0.1687	0.2150	0.0112	
Mediano		1.200	1.547	1.757	0.1031	
Maximo		1.315	1.624	1.865	0.1082	
Minimo		1.035	1.455	1.650	0.0970	
Coe.Var.		9.757	4.499	5.006	4.498	

Grafico

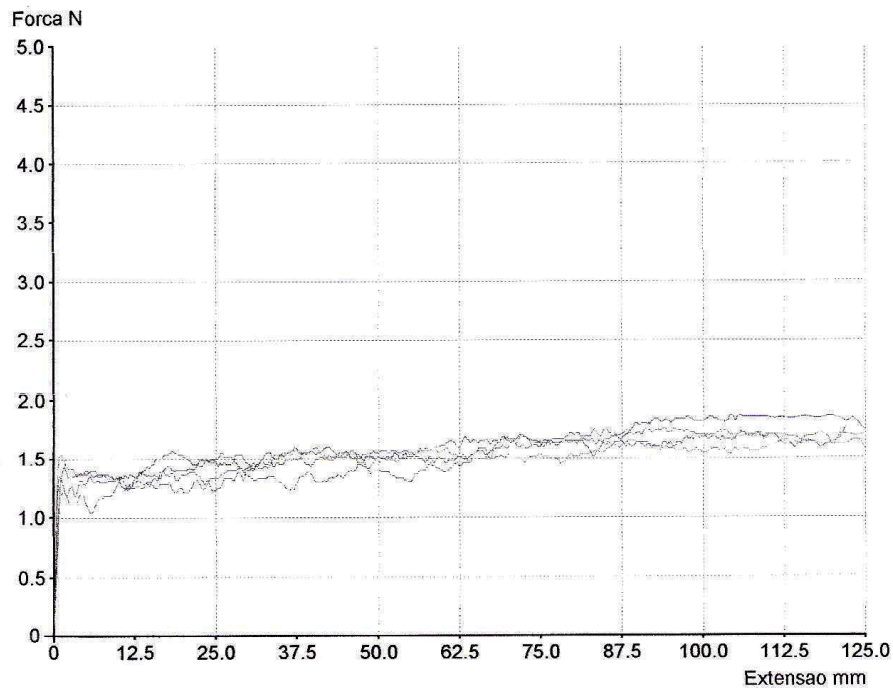


Figura A.1. Exemplo de um ensaio de resistência à deslaminagem

Monteiro, Ribas - Embalagens Flexíveis

Configuracao da Primeira Pagina

Produto : ENSAIOS_COF
 Cliente :
 O.F. : 242811
 Descrição do Produto : PET QUIMICO+PE LINEAR >COF
 Operador : VÂNIA
 Data : 23-05-2013
 Temperatura (°C) : 24
 Humidade relativa (%) : 50

Ajustes da Maquina

Load Range : 5.000 N
 Extension Range : 10.000 mm
 Speed : 120.0 mm/min
 Sled Weight : 2.000 N
 Endpoint : 9.500 mm

Comentarios

15H
 PET: FLEX FILMS (8IC); PE: POLIVOUGA
 (C4). SEM VERNIZ

Resultados do Teste [ASD1-894] ATSM 1894 : Friction Test

Amostra N°.	Static Friction μS	Dynamic Friction μD	Attributes
1	0.4515	0.3710	-
2	0.4515	0.3807	-
3	0.4695	0.3991	-
4	0.4405	0.3844	-
5	0.4245	0.3744	-
Media	0.4475	0.3819	
Desv. Pad.	0.0165	0.0109	
Maximo	0.4695	0.3991	
Minimo	0.4245	0.3710	
Coe.Var.	3.696	2.859	

Grafico

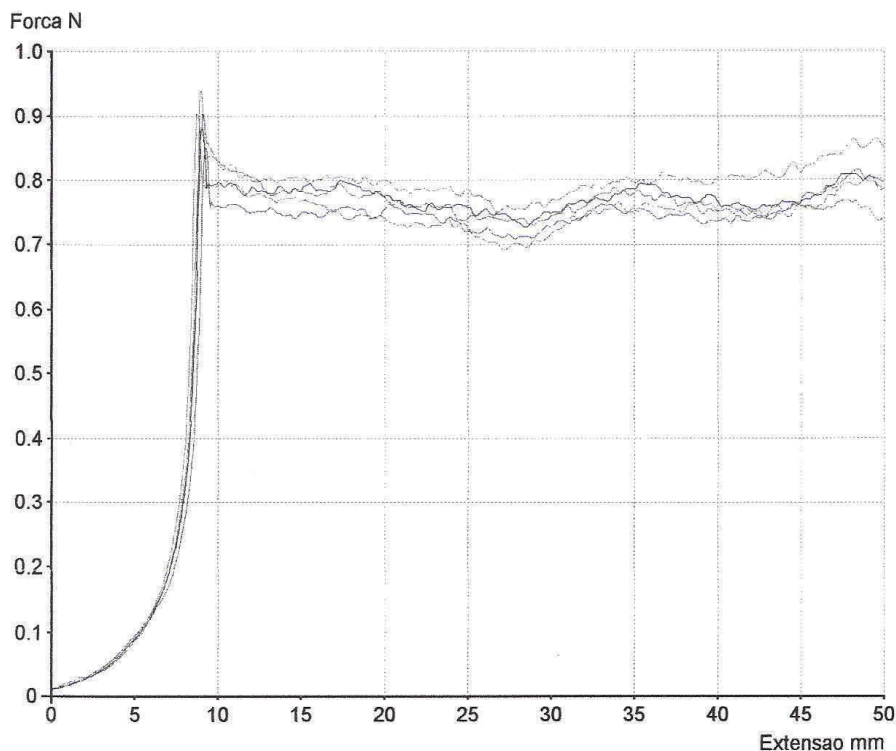


Figura A.2. Exemplo de um ensaio de Coeficiente de Atrito

Anexo B. Fichas técnicas dos adesivos

B.1. Ficha técnica da cola sem solvente

MOR-FREE™ 698A/C102

PRODUCT TYPE

MOR-FREE 698A/C102 is a solventless two-component polyurethane adhesive to be applied at 40 - 45°C (100 - 110°F).

Application

MOR-FREE 698A/C102 is especially suitable for the lamination of metallized films and alu foil as well as printed and non-printed films like PE (including EVA types), BOPP, PVdC and Acrylic coated films, PP, PETP, PA, PVC.

The adhesive was especially developed for the lamination at high machine speeds (> 250 m per minute).

In non-metallized transparent laminates the adhesive is suitable for thermal processes such as pasteurization and boiling.

An inter-reaction between the adhesive and other constituents of the laminated structures like printing inks, films, additives, coatings as well as with the packed product may occur.

Beside the desired effects, these inter-reactions may also lead to unforeseeable changes in quality.

Therefore, before regular production, the suitability of the adhesive for the structures to be produced and the intended applications must be proven by practice tests.

As with all MDI-monomer containing adhesives, under specially unfavourable circumstances, particularly in:

- All laminates containing PA film, in particular PA/high EVA content PE, white pigmented or combination of both.
- Sealing films containing excess amount of slip modifiers.
- Sealing films containing antifogging or antistatic additives.

There is a potential risk of monomer migration, which can interfere with sealing properties.

PRODUCT DATA

	MOR-FREE 698A NCO- component	MOR-FREE C102 OH- component
Product Specification:		
Solids:	100%	100%
Viscosity (25°C):	7850 ± 1650 mPas	1000 ± 500 mPas
Other typical Properties:		
Aspect:	Liquid, limpid from colourless to slightly yellow.	Liquid, limpid from colourless to slightly yellow.
Mix ratio:	100	45

Food Legislation

MOR-FREE 698A/C102, after complete reticulation, is in accordance with the positive lists of DM 21/3/73 and further modifications, FDA, CFR 21, § 175.105 and BgVV, recommendation XXVIII.

The information provided relates to this specific product. We believe this information to be accurate and reliable as of this date. We recommend you make your own determination on the suitability of this product for your particular application.

Processing

MOR-FREE 698A/C102 is to be used on laminating machines designed for solventless lamination, equipped with a suitable adhesive application unit and a tension control system suitable for winding laminated films with low initial adhesion.

MOR-FREE 698A/C102 is characterized by a very high reactivity, allowing slitting the rolls 24 hours after lamination. The curing process is normally completed 10

days after lamination and may be influenced by the type of film used and by the storage conditions; it is necessary to wait until complete curing has taken place before using the laminate.

The mixing of the two components must be done in such a way as to obtain a homogeneous mix. For a regular production, it is indispensable to use a mixing and dosing device, which continuously mixes the adhesive in the chosen ratio, controls the feeding to the application unit, and stops automatically in case of machine standstills.

On processing the adhesive, the precautionary measures applying to working with isocyanates have to be observed. The MOR-FREE 698A contains monomeric MDI, as indicated in the material safety data sheet and on the label, in conformity with the European Community regulations.

Application weight

1.5 – 3.5 gr/m² (0.94 – 2.2 lb/ream), based on the type of film, the coverage of the print and the final application.

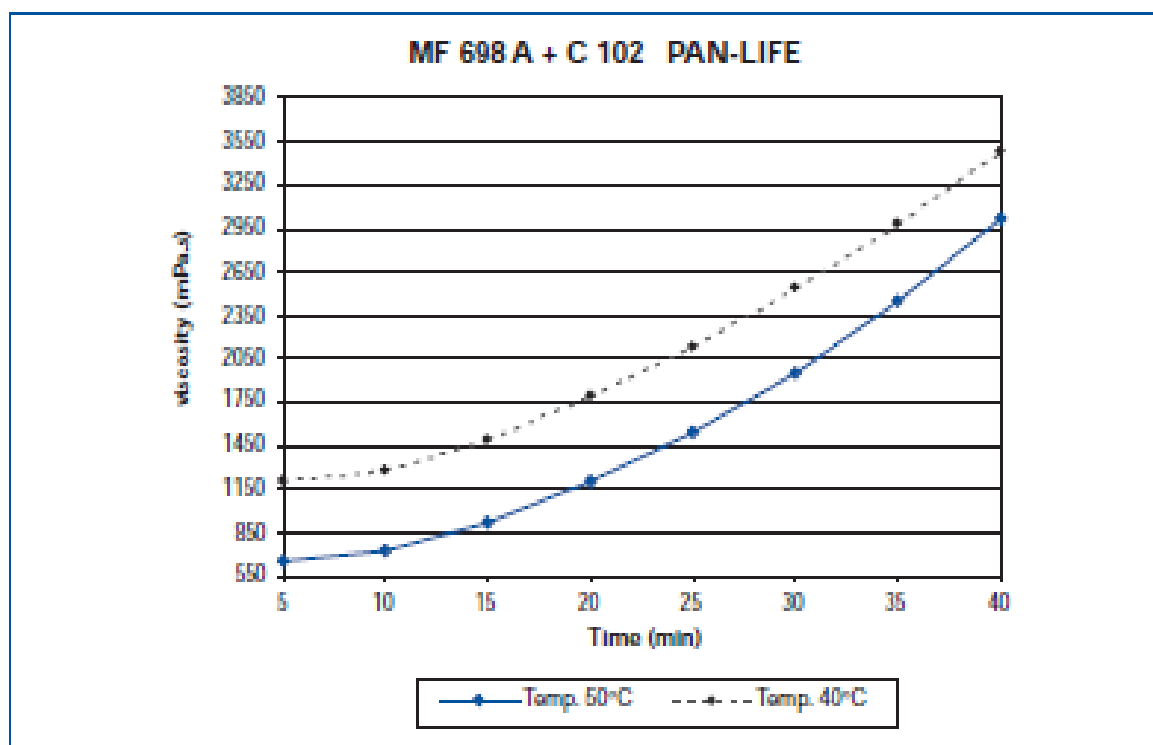
Cleaning

A proper cleaning procedure should be implemented and practiced as part of machine operation. If the machine stops take more than 30 minutes, the mixing device of the mixing unit as well as the application unit of the laminating machine should be cleaned before the adhesive becomes insoluble due to progressive reticulation.

Ethyl acetate is a suitable solvent for cleaning. Also other solvents such as MEK, Acetone may be used.

Storage

MOR-FREE 698A/C102 can be stored for at least 6 months at temperatures of 5 - 35°C (40 - 95°F) in closed original containers.



B.2. Ficha técnica da cola com solvente

NOVACOTE NC-270-A with co-reactant CA-12

DESCRIPTION

NOVACOTE NC-270-A with co-reactant CA-12 is a solvent-based two-component polyurethane adhesive. The systems shows good slip agent compatibility.

PRODUCT PERFORMANCE

NOVACOTE NC-270-A + CA-12 is used for lamination of printed or unprinted transparent and metallized structures consisting of PET-, BOPP-, CPP-, OPA-, CPA-, PE-films or aluminium foil. Laminates produced with NOVACOTE NC-270-A + CA-12 show high initial bonds as well as high heat and product resistance after complete curing. Pasteurization, boil-in-bag and retort applications are possible with transparent structures.

Suitability of printing inks, films, additives etc. must be tested by the user prior to the processing of NOVACOTE NC-270-A + CA-12. In case of changes in the quality of one component these tests have to be repeated.

TYPICAL PRODUCT DATA

	NC-270-A	CA-12
Type / chem. Character	NCO	OH
Solid content [%]	75 ± 1	75 ± 1
Viscosity @ 25°C [mPas]	2.900 ± 1.100	3.500 ± 700
Solvent	ethyl acetate	ethyl acetate
Density @ 20°C [g/cm³]	1,08	1,16
Appearance	clear to slight hazy	clear
Mixing ratio [Mass %]	100	25

PROCESSING

Diluents:

Suitable solvents are urethane grades of ethyl acetate, MEK (H₂O <0,05%) or acetone (H₂O <0,1%)

Mixing instruction:

The order NC-270-A – diluent – CA-12 has to be followed. Good mixing after every addition is essential. The following table indicates appr. viscosities at given solid content:

	Solid content [%]			
	36%	40%	46%	60%
NC-270-A [kg]	100	100	100	100
Diluent ethyl acetate [kg]	143	109	83	63
CA-12 [kg]	25	25	25	25
Viscosity DIN-4-Cup @ 25°C [sec]	13	15	17	23

Pot life:

The pot life of ready for use mixed adhesive in closed container is more than 12 hours.

Coating Weight:	Standard applications (dry): Higher demands (dry): (bott-in-bag, vacuum and gas packaging)	2,5 – 4,0 g/m² 3,5 – 6,0 g/m²
	Required coating weight of particular application has to be evaluated in specific trials by the end-user.	
Drying:	All drying conditions have to be adjusted to substrate, coating weight and machine speed. Unsuitable drying conditions may cause increased solvent retention.	
Safety instruction:	Contains monomeric isocyanates and solvents. Processing only when good ventilation available and special precautions are taken in handling (material safety data sheet).	
CURING TIME	The curing reaction starts immediately after lamination. The off-machine bonds are sufficient to prevent bridging, tunnelling and telescoping. Good chemical resistance is attained after 7 to 10 days.	
ADDITIONAL INFORMATION		
STORAGE	NOVACOTE NC-270-A and CA-12 are highly flammable. The products should be stored at a dry and cool place. Guaranteed shelf life is 6 months in unopened, original containers.	
FOODSTUFF LEGISLATION STATUS	<p>The constituents of NOVACOTE NC-270-A and CA-12 are in accordance with the following regulations:</p> <p>"Code of Federal Regulations" 21 §175.105 (not §177.1390) for food packaging materials EC-Directive 2002/72/EC of 6 August 2002 German Foodstuff Recommendation XXVIII.</p> <p>NOVACOTE NC-270-A and CA-12 are manufactured in accordance with guideline 94/62 and do fulfil the mentioned limit of < 100ppm for lead, cadmium, mercury and chromium (IV).</p> <p>NOVACOTE NC-270-A and CA-12 do not contain BADGE, BFDGE or NOGE.</p>	